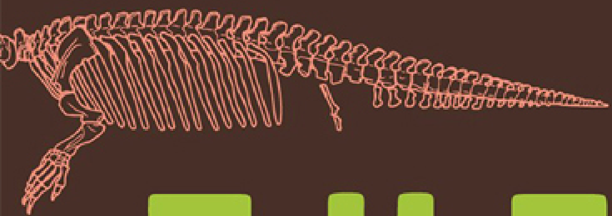
THE EVIDENCE FOR EVOLUTION

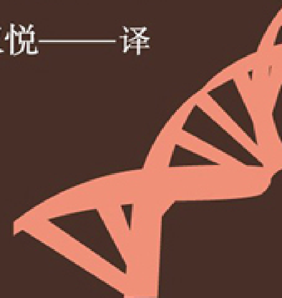


地球上最伟大的表演

[英] 理查德·道金斯——著 李虎 徐双悦——译

THE





THE GREATEST

1.Only a theory? 2.Dogs, cows and cabbages 3.The primrose path to macro-evolution 4.Silence and slow time 5.Before our very eyes 6.Missing link? What do you mean, 'missing'? 7.Missing persons? Missing no longer 8.You did it yourself in nine months 9.The ark of the continents 10.The tree of cousinship

进化的证据



SHOW

RICHARD DAWKINS



ON EARTH

中信出版集团

版权信息

书名:地球上最伟大的表演：进化的证据

作者:[英]理查德·道金斯

译者:李虎 徐双悦

ISBN:9787508666082

中信出版集团制作发行

前言

证明进化的证据日益增多，并且空前有力；然而，与此矛盾的是，不了解情况的反对意见，也比我记忆中的多了许多。在本书中，我个人总结了证明“进化论”确实是一个事实的证据——进化“论”像科学中任何其他事实一样，是无可争议的事实。

这不是我写的第一本关于进化的书，因此我有必要解释它的与众不同之处。这本书堪称是我本人著作中的“缺环”（missing link）。《自私的基因》（*The Selfish Gene*）和《延伸的表现型》（*The Extended Phenotype*）这两本书，为大家熟知的自然选择理论提供了新奇的视角，但是它们并没有讨论证明进化本身的证据。我接下来的三本书，则以不同的途径，试图辨别并化解妨碍读者理解进化的主要障碍。这些书，如《盲眼钟表匠》（*The Blind Watchmaker*）、《伊甸园之河》（*River Out of Eden*）以及三之中我最钟爱的《攀登不可能的山峰》（*Climbing Mount Improbable*）回答了诸如“半盲的眼睛有什么用”、“短小的翅膀有什么用”、“在大多数突变都有负面作用的情况下，自然选择是如何工作的”这类问题。然而再一次地，这三本书虽然（为读者）清除了（理解进化论的）障碍，但是并没有直接呈现“进化是一个事实”的实际证据。我最大的一本书《祖先的故事》（*The Ancestor's Tale*）勾画了生命的整历程，用乔叟式漫游[注]的方式，回溯时间来“寻祖”（ancestor-seeking），但是，这本书也只是预先认定了进化是符合事实的。

回顾这些书时，我意识到，我在任何地方，都没有明确指出关于进化本身的证据，这是我需要弥补的一个重大鸿沟。2009年看来是一

个好时机，这一年是达尔文诞辰200周年和《物种源始》（*On the Origin of Species*，《物种源始》第一版）出版150周年。毫不奇怪，其他作者也想到了这一点。这一年，我们看到了一些优秀著作，特别是美国演化生物学家杰里·科因（Jerry Coyne）的《为什么要相信达尔文》（*Why Evolution is True*）。我对该书的高度评价发表在《泰晤士报·文学副刊》（*Times Literary Supplement*）上（在线阅读请访问http://richarddawkins.net/article，3594，Heat-the-Hornet，Richard-Dawkins）。

本书被我有远见的文稿代理人——兢兢业业的约翰·布罗克曼（John Brockman）暂定名为《只是一个理论》（*Only a Theory*）。后来，我们发现这个标题已被布朗大学生物学教授肯尼斯·米勒（Kenneth Miller）抢先用在了他那像书一样厚的庭审答辩中，这类著名的审判有时会决定科学教学大纲，而肯尼斯·米勒在那次审判中扮演了英雄的角色。无论如何，我始终都怀疑这个标题是否适合本书，因此当发现这个完美标题已经好端端地排入了另一个书架，我就不考虑用它了。几年前，一位匿名支持者赠送给我一件T恤，上面印有巴纳姆式（Barnumesque）[注]的口号——“进化，地球上最伟大的表演，小镇上唯一的游乐”。我不时穿着这件T恤去演讲，并以这句口号作为演讲题目，然后，我突然意识到——它正是本书的理想书名，虽然全句太长了点。我将它缩短为“地球上最伟大的表演”。“只是一个理论”则恰好可以作为第一章的标题（要预防性地加一个问号，以防止神创论者的“征用”）。

我得到了许多人给予的各方面的帮助，包括迈克尔·尤德金（Michael Yudkin）、理查德·伦斯基（Richard Lenski）、乔治·奥斯特（George Oster）、卡罗林·庞德（Caroline Pond）、亨利·D·格力斯诺－迈尔（Henri D. Grissino-Mayer）、乔纳森·霍奇金（Jonathan Hodgkin）、马特·雷德利（Matt Ridley）、皮特·霍兰（Peter Holland）、沃尔特·乔伊斯（Walter Joyce）、王彦

（Yan Wong）、威尔·阿特金森（Will Atkinson）、拉沙·梅农（Latha Menon）、克里斯托弗·格雷厄姆（Christopher Graham）、保拉·柯比（Paula Kirby）、丽莎·鲍尔（Lisa Bauer）、欧文·塞利（Owen Selly）、维克多·弗林（Victor Flynn）、凯伦·欧文斯（Karen Owens）、约翰·恩德勒（John Endler）、伊恩·道格拉斯－汉密尔顿（Iain Douglas-Hamilton）、希拉·李（Sheila Lee）、菲尔·洛德（Phil Lord）、克里斯蒂娜·德布莱兹（Christine DeBlase）和兰德·拉塞尔（Rand Russell）。萨莉·盖米纳拉（Sally Gaminare）、希拉里·雷德蒙（Hilary Redmon）以及他们各自在英国和美国的团队，都给了我极大的支持和力所能及的帮助。在本书即将出版的最后阶段，科学期刊中报道了三次令人兴奋的新发现。每一次，我都胆怯地问，往书中一再加入新的发现，会不会干扰到有序而复杂的出版流程？在三次情况下，萨莉和希拉里都没有像普通出版人可能会做的那样，抱怨这最后一刻生出的混乱，而是毫无怨言地以极大的热情接受建议，愚公移山一般排除了困难，使本书得以出版。同样热情帮助我的还有吉莉恩·萨默斯凯尔斯（Gillian Somerscales），她以对文字的精通和敏锐的理解力对本书进行了编辑整理。

吾妻拉拉·沃德（Lalla Ward）则又一次地给了我无穷的鼓励、有益的文体批评和现代风格的建议。这本书的构思和写作开始于我担任查尔斯·西蒙尼（Charles Simonyi）教授职位的最后几个月，完成于我退休之后。在卸下西蒙尼教授的头衔之际，自我们第一次重要的相遇14年（并出版了7本书）之后，我想再一次表达我对查尔斯的感激和欣赏。拉拉和我，祝愿我们和查尔斯的友谊地久天长。

这本书要献给乔什·蒂莫宁（Josh Timonen），并致谢他和他的团队；这个团队小而专注，最早建立起了“Richard Dawkins.net”网站。从这个网站我们可以看出乔什是一位有创意的网站设计者，但这只是他惊人才能的冰山一角。乔什的创造天赋极为深厚，但如果用冰

山一角来形容他，实不足以表现他对我们的共同事业所贡献的丰富才艺，亦不足以反映他那温暖人心的幽默感。

---

1. Chaucerian pilgrimage，杰弗雷·乔叟是英国著名诗人，这里的“漫游”是指模仿乔叟的杰出作品《坎特伯雷故事集》的写作。——编者注
2. P.T. 巴纳姆，美国历史上最著名的巡回演出团和马戏团老板。——编者注

第一章 只是一个理论？

设想，你是一位讲授罗马史和拉丁语的老师，急于向学生们传授你对古代世界怀有的满腔热情——包括奥维德（Ovid）的挽歌、贺拉斯（Horace）的颂歌、西塞罗（Cicero）的雄辩术中展示的强有力的拉丁语语法、布匿战争中的完美战术、尤利乌斯·恺撒（Julius Caesar）的为将之道和后代君王的骄奢淫逸。这将是一项大工程，耗时持久，需要专注和投入。但与此同时，你发现自己宝贵的时间不断地被人侵夺，你班上学生的注意力被分散到了别处——一群不学无术的人（你作为拉丁文学者，会用ignorami(注)这个词称呼他们）在大声嚷嚷。他们有强大的政治力和雄厚的财力做后盾，在迫切地、不遗余力地试图劝服你那些可怜的学生，告诉他们——罗马人不曾存在过，从来没有过什么“罗马帝国”。整个世界只存在于“鲜活的记忆之中”。西班牙语、意大利语、法语、葡萄牙语、加泰罗尼亚语、欧西坦语、罗曼什语——所有这些语言及其方言，都是各自独立地、自动发展而来的，它们没有所谓的祖先语言（如拉丁语）。这时候，你就不能再专注于做一名高雅的古典学者或教师了，你被迫分出宝贵的时间和精力，去防守后院，捍卫“罗马的确存在过”这一命题；对抗这种无知偏见的争辩，会令你精疲力竭、无暇他顾。如果争论尚有闲暇的话，你恐怕要大哭一场。

如果我幻想的这个“拉丁语教师”的例子太没有代表性，我再说个更现实的例子。假设，你是一位教近代历史的老师，但你关于“20世纪的欧洲”的讲座，被人联合抵制，遭到了强烈的质疑；或遭到了“大屠杀否认者”的打断（他们组织上有条理、经济上很充裕、政治上很强大）。同我前面虚构的“罗马否认者”不同，“大屠杀否认者”是确实存在的。这些“否认者”非常聒噪，善于混淆视听，惯于

做出博学的样子。他们至少受到某一当代强国之总统的支持，他们中还至少包括一位罗马天主教的大主教。设想，你作为一位教授欧洲历史的老师，要不断地面对这些好斗之徒，他们要求教师在课堂上讲授“争议”，要求“平等地”对待“另一种历史”——说大屠杀从未发生过，只不过是一群犹太复国主义者有预谋的杜撰。这时，顺应“潮流”的相对主义者插话说：没有绝对的真相，大屠杀的真实与否，完全是个人信念的事情；所有的观点都同样地确实，并应该得到同等的“尊重”。

现在的科学教师，所处境况并没有好到哪里去。当科学教师尝试着详细解释生物学的主要思想和基本原理，忠实地将生命世界还原于历史背景中（这意味着进化）探索并解释生命的本质时，他们被不断地打扰、妨碍、欺侮，甚至面临着失去工作的威胁。最起码，每一次他们的时间都会被浪费掉（一部分）。科学教师很可能收到来自学生家长的恐吓信，被迫忍受讽刺的嘲笑，并受到被洗脑的学生的近战围攻。他们还得用国家批准的教科书上课——这些书本被系统地删除了“进化”这个字眼，或者把“进化”改成了“随着时间推移而改变”。我们一度忍不住地笑谈——这是美国的特有现象。但现在，英国和欧洲的老师，也面临着同样的境况。部分是由于受到美国影响，但更重要的原因是课堂上信伊斯兰教的学生日益增多——这一方面是受了官方委员会致力于“文化多元主义”的教唆，以及害怕人们认为学校有种族歧视。

经常有人说，高级神职人员和神学家对进化不持异议，此言不谬。不仅如此，在很多情况下，高级神职人员在这一方面积极地支持科学家。这些通常都是实情，我通过切身的体验，了解到了这些情况。我曾两次与当时的英国圣公会牛津教区主教——现在的理查德·哈里斯（Richard Harries）大人进行过愉快的合作。2004年，我们曾在《星期日泰晤士报》（*Sunday Times*）上联合发表文章。文章末尾写道：“现在已经没有什么争议。从基督教的角度来看，进化是事

实，是上帝最伟大的杰作之一。”这最后一句话是哈里斯写的。但我们都一致认同文章的其余部分。两年前，我和哈里斯主教共同写了一封信给当时的首相托尼·布莱尔（Tony Blair）。信的内容如下：

尊敬的首相阁下：

我们以科学家和主教的名义，写信表达我们对于盖茨黑德市（Gateshead）艾曼纽城市技术学院（Emmanuel City Technology College）的科学教学的担忧。

进化论是具有强大解释力的科学理论，能够在许多学科中解释说明广泛的现象。它可以被提炼、证实，甚至能被更重大的证据所改写。进化论并非像该学院发言人所主张的那样，可以和《圣经》记述的创世论归入同一范畴、处于信仰的位置，它有着（完全）不同的作用和目的。

问题并不仅仅是“一个学院现在教什么”这么简单。人们日渐担忧，在新一代的模范宗教学校里应该教什么、怎么教。我们认为，这些学校的课程，以及艾曼纽城市技术学院的课程，需要得到严格管理，从而使有关科学和宗教研究的各门学科得到恰如其分的尊重。

您真诚的

牛津主教理查德·哈里斯（The Rt Revd Richard Harries），皇家学会会员戴维·艾登堡爵士（Sir David Attenborough），圣奥尔本斯主教克里斯托弗·赫伯特（The Rt Revd Christopher Herbert），英国皇家学会校长、牛津梅勋爵（Lord May of Oxford），皇家学会会员、体育局局长约翰·恩德比教授（John Enderby），赫里福德主教约翰·奥利弗（The Rt Revd John Oliver），伯明翰主教马克·桑特（The Rt Revd Mark Santer），自然历史博物馆主任尼尔·查默斯爵士（Sir

Neil Chalmers），南华主教托马斯·巴特勒（The Rt Revd Thomas Butler），皇家学会会员、皇家天文学家马丁·里斯爵士（Sir Martin Rees），朴次茅斯主教肯尼斯·史蒂文森（The Rt Revd Kenneth Stevenson），皇家学会会员、皇家学会生物学秘书长帕特里克·贝特森教授（Patrick Bateson），朴次茅斯罗马天主教会主教克里斯潘·霍利斯（Crispian Hollis），皇家学会会员查德·绍斯伍德爵士（Sir Richard Southwood），体育局前局长、皇家学会会员弗朗西斯·格雷厄姆－史密斯爵士（Sir Francis Graham-Smith），皇家学会会员理查德·道金斯教授（Richard Dawkins）

我和哈里斯主教起草这封书信的时候很匆忙。据我现在能够回忆起来的情形，我们征集签名时，所找到的人百分之百地签署了这封信。无论是科学家还是主教，双方都没有提出异议。

坎特伯雷大主教（Archbishop of Canterbury）和教皇对进化都没有异议（但教皇可能对于“在古生物历程中，人类的灵魂是何时被注入体内的”这一问题，还有保留），受过教育的牧师和神学教授也是如此。这是一本有关“进化是事实”的正面证据的书，其意图并不是要反对宗教。我已经说过，反对宗教是另一件行头（T恤），不适合在这里穿。注意到进化之证据的主教和神学家，已经放弃了反对进化的无谓挣扎。有些人放弃得很勉强，而有些人则是积极主动地放弃的（如理查德·哈里斯）。除了那些闭目塞听的可怜人，所有人都被迫接受了进化的事实。他们也许会认为上帝着手推动了这一进程的开始，之后就不再指导它未来的发展。他们也许认为：上帝首先创造出了宇宙，并在其诞生之时，致送了隆重的贺礼——一整套和谐的法则和物理常数，算好了要用来完成某些神秘莫测的目的，而我们人类在此过程中最终也会发挥作用。虽说思考透彻、理性的教会人员有的很勉强，有的比较欣然，但他们终究还是接受了进化的证据。

我们不应该自满地认为“因为主教和受过教育的神职人员接受了进化论，那么他们的信徒听众也就接受了进化论”。唉，正如我在附录里“立此存照”的那样：来自民意调查的大量证据与此相反——超过40%的美国民众否认人类是从其他动物进化而来，并认为人类（暗示所有生命）是在过去的一万年中由上帝创造的。这个比例在英国没有这么高，但比例之高，也令人担心。此种现象应当引起科学家们的忧虑，也应当引起教会的忧虑。因此，本书的出版是必要的。我将以“历史否认者”来指代进化的否定者。他们相信世界的历史只有几千年，而非几十亿年；他们相信人类曾和恐龙生活在同一个时代。重申一遍，这些人占了美国人口的40%甚至更多。在其他国家，这类数据有高有低，40%是个较为接近实际的平均数，我将不时地用“四成人”来指称这些“历史否认者”。

我们再反过来说一说开明的主教和神学家——如果他们在谴责“反科学”的无稽之谈时，能够再稍微努力一点儿，那就更好了。有许多布道士一边认同进化是真的，亚当和夏娃从不存在，一边愉快地走上讲坛，在布道中从道德或神学角度讲述亚当和夏娃，却从不提二者的虚妄——亚当和夏娃当然不曾存在过！如果遭受质疑，布道士会抗议说，自己讲的只是纯粹的“象征性”意义，也许是关乎“原罪”或纯真的“德性”的东西。他们也许会不太自然地说——显然，没有人会愚蠢到把他们的话按字面意思去理解。但是，布道士的信众们知道吗？坐在长椅上或跪在祈祷垫上的人们，要怎样才能知道经文的哪一段应该按照“字面意思”理解，哪一段又该按“象征性意思”去理解呢？对于没有受过教育的信众来说，这种猜测真的很容易吗？大多数情况下，答案都是否定的，我们能体谅任何感到困惑的人。如果你不相信我的话，请看本书附录。

主教大人，请您仔细考虑。牧师，请您小心一点！你们正在玩火，正在和即将到来的误解携手共舞——可以说。如果没有预先阻止，会注定产生这类误解。在公众场合讲话时，你们难道不应该更加

注意言辞，是就是是，非就是非？为了免遭谴责，你们难道不应该站出来，反对已经极其广泛地存在着的大众误解，积极且热情地支持科学家和教师们吗？

本书也试图影响那些“历史否认者”。但也许更重要的是，我希望能武装那些本身不是“历史否认者”，但认识“历史否认者”（也许是他们的家人或教友）的人们——他们在同“历史否认者”争辩的时候，往往发现自己准备不足。

进化是事实。它超越了合理的、严肃的、理性的、全面的、明智的质疑，是毫无疑问的事实。进化的证据至少和大屠杀的证据一样强而有力（即使考虑到大屠杀有目击证人而进化没有）。实情很明显：我们是黑猩猩的亲戚、猴子的远亲、土豚和海牛的更远一点的亲戚，香蕉和芜菁再远一点的亲戚——只要愿意，这清单可以一直列下去。进化倒不是说“非是真的不可”。它并非是不证自明地、同义反复地和显然地“是真切的”。曾有一段时间，大多数人（甚至受过教育的人）都认为进化不是真的。它不是“非是真的不可”，但事实上，它是真的。我们明白这个，是因为日渐涌现的大量证据不断地支持它。“进化是一项事实”——本书将证明这一点。著名的科学家对此没有争议，不带偏见的读者读完本书后也不会质疑。

然而，为什么我们总是说“达尔文进化理论”呢？这看起来为那些神创论信徒、“历史否认者”和“四成人”带来了虚假的安慰——在他们看来，“理论”一词是一种让步，是送给他们的某种“礼物”或“胜利”。

---

1. ignorami，意为无知的人、笨蛋。——编者注

什么是“理论”？什么是“事实”？

只是一个理论？且让我们看一下“理论”到底是什么意思。《牛津英语词典》（*Oxford English Dictionary*）给出了两条释义（实际上有更多的释义，但只有两条和本主题相关）。

> **理论，释义1：**用来解释一系列现象或事实的一种纲领、思想体系或表述；经过观察和实验而被验证或确立的假说，被提出来或被接受以解释公认的事实；对人们视为普遍的规律、原则或所知、所见事物之起因的一种表述。
>
> **理论，释义2：**作为解释而被提出的假设；因此，仅仅是假设、推测、猜想；关于事物的一个想法或一整套想法；个人观点或见解。

很明显，这两个释义之间有很大差别。对我的“进化理论之问”的简短回答是：科学家用的是释义1，而神创论者选的是释义2（也许是恶意的，也许是真诚的）。释义1的一个很好的例子是日心说，即地球和其他行星都围绕太阳公转这个理论。进化论完美地符合释义1。达尔文的生物进化理论的确是一种“纲领、思想体系或表述”。它确实解释了大量的“现象或事实”，是“经过观察和实验而被验证或确立的假说”；是被通达之士普遍认可为“普遍的规律、原则或所知、所见事物之起因的一种表述”。这当然与“仅仅是假设、推测、猜想”相差很大。科学家和神创论者在两种非常不同的意义上理解“理论”一词。而进化论和日心说这两种“理论”是同一意义的“理论”。二者都不需要如“只是一个理论”这般添加“只是”一词。

至于有人断言，进化从未得到过“证明”，我们只能说：科学家已经被“证明”这种意见“吓怕了”，被迫不去信任这一意见。有影响力的哲学家告诉我们，我们无法在科学上证明任何东西。数学家可以“证明”某些事物——根据某一严格的观点，数学家是唯一“能证明某种东西的人”。而科学家最多也就只能指出自己已尽了最大的努力，但仍未证伪某事。例如，甚至“月亮比太阳小”这样无可争辩的理论，也不能以令某些哲学家满意的方式（如证明勾股定理的方式）加以证明。然而，大量的证据如此强有力地支持着它，以至于除了书呆子学究之外，任何人否定其作为“事实”的地位，都会显得可笑。进化也是如此。进化是一项事实，正如巴黎是在北半球一样。“尽管诡辩家统治城镇”[注]，但是有些理论已经超越了“明智的质疑”的范围——我们将其称为“事实”。你越积极、越彻底地试图否定一个理论，如果该理论能幸运地经受住攻击而幸存下来，那么它就越靠近常识所乐于称为的“事实”。



图1 “我还是要说，它只是一个理论。”

我可以继续使用“理论第1释义”和“理论第2释义”，但是，数字不容易记，我需要找一个替代的词语。我们已经有一个很好的词语可以替代“理论第2释义”——“假说”。每个人都知道，“假说”是有待证实的初步想法。现在的进化已经摆脱了这种“试验性”，尽管在达尔文时代它还背着“试验性”的重负。“理论第1释义”更难找到替代词汇。如果就当“第2释义”不存在，那是最好的，直接使用“理论”一词将简单明了；因为我们已经有了“假说”一词，所以“第2释义”的存在令人困惑，非常多余。不幸的是，人们已广泛使用“理论”的第2释义，我们却不能立法加以禁止。因此，我打算在相当的、可原谅的自由度内，借鉴数学术语“定理”一词，来指代释义1。正如我们所见，事实上可能借用错了。但是我认为借用带来的好处将压倒造成困惑的风险。为了向被冒犯的数学家示好，我将把theorem（定理）的拼写改成theorum（“定里”）(注)。首先，让我解释一下数学界对“定理”这一定义的严格使用，同时澄清我先前的声明——严格来讲，只有数学家有资格来证明某一事物（律师尽管高薪且自负，但他们并没有这种资格）。

对于数学家来说，“证明”是一种逻辑论证，其结论是由公理必然地推导出来的。如果我们采用欧氏几何公理，如平行直线永不相交，那么勾股定理就必然是正确的。因此，试图通过测量几千个直角三角形，来找出一个推翻勾股定理的三角形，可以说是浪费时间。毕达哥拉斯学派证明了这一定理，并且任何人都能作出证明。那么这一定理就是正确的，到此为止了。数学家利用“证明”这一理念，区分开了“猜想”和“定理”，这和《牛津英语词典》对“理论”两个释义的区分有表面的相似之处。“猜想”是一个看似正确，但从未得到证明的“命题”。当它被证实以后，就会变成定理。一个著名的例子即“哥德巴赫猜想”，它声称任何大于2的偶数都可以表示为两个素数之和。数学家们用大至3000万亿亿的全部偶数去验证，也没能推翻它。因此常识会乐于称之为“哥德巴赫事实”。然而，尽管悬赏的奖金丰厚，哥德巴赫猜想却从未得到过证明，数学家们也恰当地拒绝让

它坐上“定理”的宝座。如果有人作出了证明，那么“哥德巴赫猜想”将会变成“哥德巴赫定理”，或者也许是“某某定理”。“某某”即那个作出证明的聪慧数学家。

美国天文学家卡尔·萨根（Carl Sagan）借用“哥德巴赫猜想”，来讽刺那些声称被外星人绑架的人。

> 很偶然地，我收到了一封信，写信者和外星人有“联系”。他们邀请我“向他们询问任何事情”。这么些年来，我已经准备好了一个问题小清单。请记住，外星人很先进。所以，我问的问题有，“请简要证明费马大定理，或哥德巴赫猜想”……但我从来没有得到过任何答案。另一方面，如果我问些如“我们是否应该友好相处”之类的问题，就几乎总是能得到答案。任何含糊的，特别是涉及传统的道德判断的问题，这些外星人都非常乐意作出回应。但是问到具体的事情，可以测试他们**实际所知**是否超过大多数人类所知的事物，结果只得到无声的沉默。

费马大定理和哥德巴赫猜想一样，是一个关于数字的命题，尚无人发现例外情况。1637年，皮埃尔·德·费马（Pierre de Fermat）在一本古老的数学书的边缘写道：“（对此）我有一个真正了不起的证明……这个页边空白太窄了，写不下。”从此以后，证明这个定理一直是数学家苦苦寻求的一种“圣杯”。1995年，英国数学家安德鲁·怀尔斯（Andrew Wiles）终于证明了费马大定理。在此之前，一些数学家认为，它应该被称为一个“猜想”。鉴于怀尔斯的成功证明冗长而且复杂，并且是基于20世纪的先进方法和知识，所以，大多数数学家认为，（说实话）费马声称自己已经证明了这一定理，是搞错了。我讲这个故事，只是为了说明“猜想”和“定理”之间的差异。

正如我所说，我借用数学家的术语theorem（定理），但是拼写为theorum（定里）以区别于数学定理。进化论或日心说这类科学定里是

符合《牛津英语词典》“第1释义”的理论。

> ［它是］经过观察和实验而被验证或确立的假说，被提出来或被接受以解释公认的事实；［它是］对人们视为普遍的规律、原则或所知、所见的事物的起因的一种表述。

人们无法用证明数学定理的方式，证明一项科学定里，但是，常识仍将后者视为一项事实；在同样意义上，“地球是圆的，不是平的”这种理论是一个事实，绿色植物从太阳获得能量的理论，也是一个事实。上面这些都是科学定里：能够为巨大数量的证据所支持，被一切有教养的观察者所接受，是通常意义上的无可争议的事实。在处理任何事实的时候，如果我们冥顽不化，那么无可否认的是，我们的测量工具、我们解读事实的感觉器官，都可能仅仅是一个巨大骗局的受害者。正如罗素所说：“我们都可能是在5分钟之前才开始存在的——只要我们在5分钟之前被灌入了现成的记忆、袜子被磨出了破洞、头发被做成了需要修剪的样子。”罔顾现有的证据，而论断“进化绝对不是一个事实”需要造物主做出一场相似的骗局，而有神论者中，很少有人会采信这种观点。

现在，我们要查一下字典对“事实”的定义。下面是《牛津英语词典》的解释（词典里还有许多释义，但这是相关的那一条）：

> **事实：**真的发生的或实际上如此的事物；肯定具有为人所知的性质的事物；即一个因实际观察或可信的证词而为人所知的具体真相，相对于仅仅是推断、猜想或虚构的事物；经验数据，和基于它可能得出的结论相区别。

请注意，如同科学定里，“事实”并没有像“已得证的数学定理”一样拥有严格地位（数学定理是由几个公理不可阻遏地推理出来

的）。此外，“实际观察或可信的证词”也会犯可怕的错误，并且会在法庭上被高估。心理学实验已经提供给我们一些惊人的示范，这应该引起所有倾向于优先考虑“目击”证据的法官的担忧。心理学家丹尼尔·J.西蒙斯（Daniel J. Simons）教授在伊利诺伊大学做过一个著名实验。在一段时长25秒的影片里，站成一圈的6个年轻人彼此传递两个篮球。而我们观众作为实验对象观看影片。在传球、拍球的时候，球员们在圈里进进出出并改变位置，因此现场相当复杂。在看电影之前，我们被告知要执行一项小任务，来测试我们的观察能力——我们必须数出篮球被传递的总次数。在测试结束后，把结果正式写下来。但是——没有观众知道——这是声东击西，并不是真正的考验！

在放映了影片和收集了计数结果之后，实验者扔下了他的重磅炸弹——你们中有多少人看到了大猩猩？大部分观众顿时莫名惊诧，脸上一片迷茫。然后，实验者重新播放了影片，但这一次则告诉观众——他们不需要数出任何传球次数，只需轻松观看。令人惊讶的是，影片里有整整9秒的时间，一个穿着大猩猩套装的人，漫不经心地逛到球员围成的圆圈中心，停下来面对镜头，捶击胸口，似乎在轻蔑地挑衅那些目击证据。然后他与先前一样，若无其事地慢步走开（请看彩页8）。大猩猩出现在人们视野中整整9秒——超过影片时长的1/3！然而大多数观众表示“完全没有见到”。他们会在法庭上发誓，说没有出现一个穿着大猩猩套装的人。他们会发誓，在全部的25秒钟内，他们已经以超乎平常的敏锐注意力进行观察（因为他们在数传球次数）。人们沿着这种思路，实施了许多实验，得出的结果与此相似。当观众最后面对真相时，其目瞪口呆的怀疑反应，在各个实验中也相似。目击证据、“真实的观察”、“经验数据”——所有都是（或至少可能是）完全不可靠的。当然，正是由于观察者的这种不可靠，舞台上的魔术师才能充分利用他们刻意的“分散注意力的技术”来表演魔术。

字典里对“事实”的定义提到“实际观察或可信的证词，相对于仅仅是推断的事物”。用“仅仅”这个表示轻蔑的词，是有点妄自尊大了。事实上，严谨的推理可以比实际观察更可靠，但是我们的直觉强烈地反对这一点。当我被告知自己未能看到西蒙斯的大猩猩时，我自己也是大吃了一惊，并坦言不敢相信大猩猩真的曾在那里出现过。在第二次观看影片后，正所谓吃一堑长一智，我应该再也不会被诱惑而无意间作出有偏见的目击证词，认为它强过间接的科学推理。所有的陪审团成员在退庭考虑判决之前，都应该看一看这部大猩猩影片，或其他类似的演示。所有的法官也应该看。

诚然，我们的推断一定要最终依靠感觉器官的观测。例如，我们要用眼睛去观察DNA（脱氧核糖核酸）测序机或大型强子对撞机的打印输出结果。但是，同我们的直觉相反的是：对某一可疑事件（如谋杀）的直接观察的可靠程度，不一定高于（符合证据推理链的）某一项间接观察（如一道血痕里的DNA）的可靠程度。搞错嫌犯身份更可能是由于直接目击证词（的错误），而非来源于DNA证据的间接推断。此外，顺便说一下，由于来自DNA的新证据的出现，有大量曾因目击证词而蒙冤入狱的人，得以无罪释放（有时是若干年后）。仅在得克萨斯州，自从DNA证据可以作为呈堂证供之后，就有35个被判有罪之人被证明无罪。而这仅仅是那些仍然活着的人。鉴于得克萨斯州政府偏爱执行死刑［乔治·W.布什（George W. Bush）在担任州长的6年内，平均每两周就签署一次死刑批准令］，我们不得不推测，如果DNA证据能够及时地为他们所用，被执行了死刑的人中，将有相当数量的人会被证明无罪。

这本书将严肃看待推理——不是单纯的推理，而是正确的科学推理，并且，我将用不可辩驳的推理，表明“进化是一个事实”。显然，我们无法直接目击绝大多数的“进化性改变”。“进化性改变”大多数发生在我们出生之前，并且通常在任何情况下，都发生得极其缓慢，以至于在人的一生中都看不出这种变化。这同样适用于非洲大

陆和南美洲大陆正不断发生的大陆板块漂移和分离，正如我们将在第九章中看到的，这种“分离”对我们来说太缓慢了，我们根本注意不到。研究进化和大陆漂移这类事件的时候，我们所能凭借的，就是事件发生之后的推论，原因很明显——我们是在事件发生之后才出世的。但是请丝毫不要低估这种推论的说服力。现在，南美洲和非洲的缓慢漂移和分离已是普通语义上的“事实”。我们和豪猪、石榴拥有共同祖先这一“事实”也是如此。

我们类似于在犯罪事件发生后，来到现场的侦探。凶手的行为已经成为“历史”——看不到了。侦探不可能亲眼目睹实际犯罪。无论如何，大猩猩实验和其他同类实验，已经教导我们“不要相信自己的眼睛”。侦探所拥有的，就是遗留下的蛛丝马迹，那里有大量东西值得相信。有脚印、指纹（时下还有DNA指纹）、血迹、信件、日记。造成世界目前这种面貌的，正是这些事物和这些历史，而非另外的事物和另外一种历史。

正如许多历史实例所呈现的那样，“理论”的两个字典释义之间的区别，并非不可逾越的鸿沟。科学史上，theorum（定里）在开始的时候往往是“纯粹”的假说。就像大陆漂移理论，一种思想在向着“定里’”或“不争的事实”这种地位艰难地一步一步前进时，甚至可能在起步时就深陷泥潭，广被嘲笑。这不是一个哲学难点。当然，人们过去曾普遍认可的一些信念已经被决定性地证伪了，但是，这一事实并不意味着，我们必须担心未来的证据将总是推翻我们目前的信念。除开其他因素，我们目前信念的“脆弱性”，取决于它们的证据有多强大。人们过去认为地球比太阳大，是因为他们的证据不足。现在我们用前所未有的证据，确切地表明了太阳比地球大得多，并且我们完全可以相信，这方面的证据将永远不会被取代——这不是一个“迄今为止尚未被证伪的实验性假说”。我们目前对很多事情的信念可能会被推翻，但我们完全可以充满信心地列一张单子，写出永远不

会被推翻的确定事实。“进化”和“日心说”可能曾经不在其列，但现在它们已经位列其中了。

生物学家经常区别开“进化的事实”（众生皆兄弟，都是堂/表亲）和“关于进化的推动力的理论”（通常指自然选择，也许和争鸣性理论——拉马克[注]的“用进废退”、“获得性遗传”理论相对比）。但达尔文本人认为，两者都是实验性、假设性和猜想性的“理论”。这是因为，在那个年代，拥有的证据还不是非常令人信服，有名望的科学家仍然有可能怀疑进化论和自然选择。如今，已不再有可能对进化论本身提出异议，它已经成熟并成为一个理论（或曰显然得到支持的事实）——但是，“自然选择是进化的主要驱动力”这一点仍可以商榷。

达尔文在其自传中解释，1838年，他是如何以阅读马尔萨斯（Malthus）的《人口论》（*On Population*）为乐[注]，并且从中得到自然选择的灵感：“在这里，我终于得到了可行的工作原理。”对于达尔文而言，自然选择是一个假说，它可能是正确的，也可能是错误的；达尔文认为进化本身也是如此。现在被我们称为“事实”的进化，在1838年是一个有待搜集证据的假说。到了达尔文发表《物种源始》的1859年，他已经积累了足够的证据，把进化本身（不是自然选择）向“事实”的地位推进了很长的一段路。实际上，正是从假说到事实的提升，占据了达尔文巨著的大部分篇幅。这种提升仍在继续，今天，严肃的人们已不再对此有任何质疑。科学家至少非正式地称进化为事实。所有著名的生物学家都同意“自然选择是进化最重要的推动力之一”（某些生物学家比其他人有更多的主张，认为这不是唯一的推动力）。即使自然选择不是进化唯一的推动力，我也尚未见到过一位严肃的生物学家，能够提出一种替代理论，取代以适应性进化（向着正面改进的演化）为巨大推力的自然选择理论。

在这本书的其余部分，我将证明，进化是一个无可回避的事实，并歌颂其惊人的力量、简洁和美妙。进化与我们同在——在我们内部、在我们身边、在我们之间；它的工作成就，嵌在万古岩石之中。在大多数情况下，我们不能活足够长的时间，去察觉正发生在我们眼皮底下的进化。有鉴于此，我们应重新审视“在事件发生后，来到案发现场并做出推理的侦探”这一比喻。推理可以帮助科学家解读进化，这要比曾在任何时代的任何法庭为犯罪定罪的目击者证言还要多，还要有说服力，更无可争议。超越合理的怀疑？合理的怀疑？这样说就太低估进化了。

---

1. 这虽然不是我最喜欢的叶芝诗句，但用在这里很合适。
2. 请参照decorum的发音来念theorum。
3. 拉马克（Lamarck），法国生物学家。——编者注
4. 牛津大学博士、著名科普作家马特·里德利（Matt Ridley）猜测，达尔文是受他哥哥伊拉斯谟（Erasmus）绝顶聪明的朋友、英国社会学家哈里特·马蒂诺（Harriet Martineau）影响。

第二章 狗、牛和白菜

为什么经历了这么漫长的时间，才有一位“达尔文”抵达现场？是什么延迟了人类领悟这个简单、明了的思想？从表面上看，领会达尔文思想要比领会牛顿早其两百年提出的数学思想容易得多——或者其实是两千年前阿基米德提出的？人们为这种延迟找出了很多可能的理由。也许人们的头脑被发生“这等巨变”所要花费的绝对时间吓住了，被我们现在所说地质的深邃时间（地质深时）[注]和人的寿命之间的悬殊差别吓住了，被他们所试图理解的含义吓住了。也许是宗教的洗脑使我们倒退了。也许是生物器官（如眼睛）令人生畏的复杂性，给人们以“它们似乎是由工艺大师设计的”这种欺骗性假象。所有这些因素可能都起到了作用。不过，伟大且长寿的新达尔文主义综合论者恩斯特·迈尔（Ernst Mayr，2005年去世，享年100岁）多次提出了一个不同于上述猜测的怀疑。在迈尔看来，“罪犯”是现代名为“本质论”（essentialism）的古代哲学学说。“进化”的发现是被柏拉图的“死亡之手”（the dead hand of Plato）耽误了。[注]

---

1. 深邃时间（geological deep time），指非常古老、地质尺度的时间，用于强调地球的古老，是针对神创论的几千年地球历史观而提出的。——编者注

2. 这不是迈尔的用词，但表达了他的思想。

柏拉图的流毒贻害（死亡之手）

对柏拉图来说，我们自认为看到的“事实”只是燃烧跳动的篝火投射到洞穴墙壁上的影子。柏拉图像其他希腊古典思想家一样，内心深处是一位几何学者。他认为每一个画在沙地上的三角形，都只是“本质三角形”的不完美投影。本质三角形的边，都是纯粹的欧几里得式线段——有长度，但没有宽度，被定义为无限窄，且平行时永不相交。本质三角形的内角和，确实等于两个直角的和，丝毫不差。画在沙地上的三角形则并非如此，但是沙地上的三角形对于柏拉图来说，只是理想的本质三角形的不稳定投影。

根据迈尔的说法，生物学深受其自身版本之“本质论”的困扰。“生物本质论”在看待貘、兔子、穿山甲和单峰骆驼时，就仿佛它们是三角形、菱形、抛物线或十二面体。我们看到的兔子，是完美的“本质兔子”的苍白投影。那只完美的、本质性的柏拉图式兔子（以及所有完美的几何图形）则高悬在理想空间的某处。有血有肉的兔子可能会因变化而有所不同，但是它们的变异总被看作是来自“完美兔性”（the ideal essence of rabbit）的偏差。

这幅图景是多么彻底地背离进化啊！柏拉图主义者将兔子的任何变化，都视为对“本质兔”的散乱偏离，并且，总是存在抗拒变化的阻力——仿佛所有现实的兔子和天上的“本质兔”都被无形的松紧绳拴在了一起。生命进化的观点则与上述图景完全相反——后代可以无限地脱离他们祖先的存在形式，并且每一次背离，都会成为未来变种的潜在祖先。甚至，达尔文“通过自然选择的进化”的共同发现者阿尔弗雷德·拉塞尔·华莱士（Alfred Russel Wallace）干脆把自己的论文命名为《论变种无限地偏离原始类型的倾向》。

如果有“标准兔”（standard rabbit），这个桂冠也仅仅表示一群真实、乱窜、跳跃、多变的兔子的钟形分布的中心，而且这个分布随着时间而变化。随着世代传承，将有可能逐渐出现不明确的一个时间点，在这个点，我们所说的兔子的“常态”会偏得很离谱，以至于需要一个不同的名字来命名它们。没有什么永恒的“兔性”（rabbitiness），也没有什么高悬在天空的“本质兔”，只有一群群毛茸茸的、长耳的、食粪的、胡须颤动的个体，在大小、形状、颜色和癖好方面，呈现某种统计分布。旧分布中偏在一隅的长耳兔，也许会发现自己在后来的地质时期成了新分布的中心。假定兔子的世代有足够庞大的代数，其祖先和后代的分布甚至会没有交集：祖先拥有的最长的耳朵，可能比后代中最短的耳朵还要短。正如另一位希腊哲学家赫拉克利特（Heraclitus）所说：事无定事，万物皆流。一亿年之后，我们可能很难相信后代动物曾有过“兔子”这种祖先；然而在进化过程中，种群中的主要类型与其上一代的典型类型和其下一代的典型类型之间，差别都不大。这种思想方式被迈尔称为“群体思想”（population thinking）。在迈尔看来，“群体思想”是本质论的对立面。根据迈尔的说法，达尔文之所以迟至这么不合理的时代才出现，是因为我们所有人（无论是因为受希腊哲学的影响还是其他原因）都已把“本质论”刻进了我们的思想DNA中。

对于局限在柏拉图式视野里的头脑而言，一只兔子就是一只兔子，就是一只兔子而已。要提出“兔类是由统计平均物构成的浮云般的东西”，或者“今天的典型兔子可能不同于100万年前（或100万年后）的典型兔子”——这似乎违反了圈内禁忌。事实上，研究语言发展的心理学家告诉我们，儿童是天生的本质主义者。也许，儿童必须是本质主义者，才能够保持心智正常，用他们正在发展的心智将东西分门别类，并赋予每一类别一个独特的名称。难怪在《创世记》神话中，亚当的第一个任务就是给所有的动物取名。

在迈尔看来，难怪人类要一直等到19世纪，才等到了我们的达尔文。为了比较夸张地表达进化论是多么的“反本质论”，请做如下思考：在“群体思想”的进化观点中，每种动物都和另一种动物相联系，比如兔子和豹子通过一连串的中间型动物相联系——这些中间型动物的每一个都和紧挨它的另一个非常相似，以至于每一环都能和链中的“邻居”交配并生出可育的后代。这个观点最全面地违反了本质论的禁忌，并且它并不是一些局限于想象的、模糊的思想实验。按进化观点，的确存在一系列中间型动物，能把兔子和豹子联系起来——每一只都曾经生存和呼吸，在长长的、变动的连续统中，每一只都恰好地与其邻居一起归入同一个物种。事实上，系列中的每只个体都是上边邻居的后代，是下边邻居的亲代。然而，整个系列构成了从兔子到豹子的连续性桥梁——虽然后面我们将看到，从来都没有“兔豹”这种动物。从兔子到袋熊，从豹子到龙虾，从一个动物（或植物）到其他任何的动物（或植物）都有着相似的桥梁。也许你已经自己推出了为什么按这个进化性的世界观，必然产生这个惊人的结果，但还是让我一吐为快吧！我将把这称为“发卡弯思想实验”（hairpin thought experiment）。

以一只兔子——任意一只雌兔为例（任意地坚持使用雌性是为了方便，这不会影响我们的论证），把它的母亲紧挨着放在它旁边，祖母放在母亲的旁边，如此等等。时光回溯、回溯，回到亿万年前，构成了一条由雌兔组成的、似乎没有尽头的队列，每一只雌兔都被它的母亲和女儿夹在中间。我们沿着这条兔子队列，回溯时间，像将军阅兵一样，仔细检阅。随着我们的回溯，我们最终会发现，眼前经过的古代兔和我们所熟悉的现代兔已有稍微的不同。但变化的速度是如此缓慢，以至于我们将不会注意到代际间的变化趋势。正如我们看不到手表上时针的走动，正如我们看不到一名儿童的成长——我们只能看到，后来他已经变成了一个少年，再往后成了一位成人。为什么我们注意不到从一代兔子到另一代兔子的变化？另外一个原因是，在任何100年中，当前兔子种群内的变异通常都大于母亲和女儿之间的变异。

因此，如果我们试图通过比较母亲与女儿，或祖母与母亲，来辨别“时间之手”的运动，那么我们所能见的如此细微的差别，将会被跳跃在草地周围的兔子的亲友所淹没。

然而，当我们不知不觉地从时间通道持续回溯时，我们应该会遇到外表越来越不像兔子，而越来越像鼩鼱[注]的祖先（也不是非常像）。它们是我称之为“发卡弯生物”中的一类，其原因很明显，我接下来就会说明。这种动物是兔子和豹子最晚近的共同祖先（母系的，但是这并不重要）。我们不知道它的确切模样，但是遵循进化论，它肯定曾经存在。正如所有的动物那样，它是和它的女儿和母亲同一物种的成员。我们现在继续漫步，只是让“发卡”拐了一个弯，朝着时间前进的正方向走，以豹子为目标（在“发卡弯动物”许多不同的后裔中，我们将不断遇到岔路，这时我们一致选择最终能抵达豹子的那些岔路）。在我们前行的道路上，每只“鼩鼱”一样的动物身后都跟着它的女儿。慢慢地，不知不觉中，“鼩鼱”们会经历中间型动物的阶段而发生变化。这些中间型动物也许不像任何现代动物，但是彼此之间则很相似，也许经历了大致类似白鼬的中间型动物，直到最终，在我们还没有注意到任何形式的突变的时候，我们就抵达了豹子。

关于这个思想实验，有几个方面必须说一下。首先，我们碰巧选择了从兔子到豹子的路径，但我要重申，我们也可以选择从豪猪到海豚、从袋鼠到长颈鹿，或从人到黑线鳕。重点是，任何两种动物之间都可以由一个“发卡路径”联系起来。这是由于一个简单的原因：每个物种都和其他物种共有一个祖先。我们需要做的，就是从一个物种向后回溯，走到那个共同的祖先，然后转过一个发卡弯，向前走到其他物种。

其次，请注意，我们只是在谈论关于如何定位一个动物链，把一个现代动物连线到另一个现代动物。我们绝对没有把兔子演化成豹

子。我想你可以说，我们在“反向进化”回到“发卡弯动物”，然后从这里“正向进化”成豹子。不幸的是，在后面章节中我们会看到，我们必须一遍又一遍地解释，现代物种不会演变成其他的现代物种——它们只是拥有共祖，彼此是堂/表兄弟而已。我们应当看到，这些解释同时也回答了那令人心烦的常见抱怨——“如果人类是从黑猩猩进化来的，为何周围仍有黑猩猩？”

再次，在从“发卡弯动物”向前进化的过程中，我们随意选择了能到达豹子的路径。这是进化史上的一条真实路径，但需要重复的重点是，我们选择性地忽略了众多的分岔点。我们本可以遵循着这些分岔点，演变出无数的其他终点——因为“发卡弯动物”不仅是兔子和豹子的远祖，也是大部分现代哺乳动物的远祖。

最后，我已经强调过的是，虽然处于发卡两端的兔子和豹子有根本且广泛的差异，但是沿着这条链联系它们的每一步都非常微小。沿着这条链的每一只个体，都和它链中的邻居相似，正如母女之间应有的相似。像我也曾提到的那样，链中比邻的母女比起周围种群的典型成员，要更加相似。

你可以看到，这个思想实验是如何驱动着马和马车，穿越了供奉着“柏拉图式理想型”的优雅的希腊神庙。你可以看到，如果迈尔的“人类已经被本质论深深地先入为主了”这一观点是正确的，那么他对于“为什么历史上我们发现进化如此难以消化”的想法，很可能也是正确的。

“本质论”一词本身直到1945年才被发明出来，所以当年达尔文是无法使用这个词的。不过，达尔文对以“物种不变性”（immutability of species）形式存在的生物学版本质论，实在是太熟悉了,并且他的很多努力都是在集中火力打击“物种不变性”。事实上，在达尔文的一些著作中（其他著作所包含的要比《物种源始》来得多）你会完全明白他大概写的是什么——只要你能摆脱现代对进化

的先入之见，记住达尔文的很大一部分读者将是“从未怀疑过物种不变性的本质论者”。达尔文在反对这种被信以为真的“不变性”时，有一个最具说服力的武器，那就是来自驯化的证据。也正是驯化，将占据本章的其余部分。

---

1. 一种体形细小，有点像长鼻鼠的哺乳纲动物。——编者注

雕刻基因库

达尔文有大量关于动植物育种的知识。他会和养鸽人及农艺师亲切交谈，也喜欢狗[注]。《物种源始》第一章讲的都是家养的动植物品种，不仅如此，达尔文还就此主题写了一整本书——《动物和植物在家养下的变异》（*The Variation of Animals and Plants under Domestication*），书中各章分别论述了狗、猫、马、驴、猪、牛、绵羊和山羊、兔、鸽子（占两章的篇幅，因为达尔文偏爱鸽子）、鸡，以及其他各种鸟类、植物，包括令人吃惊的大白菜。大白菜这种蔬菜，公然冒犯了本质论和物种不变性。野白菜（*Brassica oleracea*）是一种平凡的植物，看起来依稀像是家养白菜的瘦弱的“杂草版”。在短短的几百年中，农艺师们使用“选择性育种技术工具箱”中所装配的或精细或粗糙的刻刀，已经把相当普通的植物雕塑成和野生祖先大不相同、彼此间也有惊人差别的各种蔬菜，如西兰花、花椰菜、大头菜、甘蓝、抱子甘蓝、青菜、罗马花椰菜（romanescu）。当然，各种蔬菜仍然俗称白菜（cabbage）。

另一个常见的例子是狼（*Canis lupus*），它被“雕刻”成了两百多种家犬（*Canis familiaris*）。英国养犬俱乐部（the UK Kennel Club）认为这些品种是独立的，并且大量的品种受到谱系育种中“类似种族隔离的规则”的影响，彼此间在遗传上是隔离的。

顺便说一下，所有家犬的野生祖先似乎真的是狼，且仅仅是狼（虽然它的驯化可能分别发生在世界上不同的地方）。但进化论者并不是一直这样认为的。达尔文和他的许多同代人，都曾推测数种野生犬科动物（包括狼、豺）为家犬的祖系作出了贡献。诺贝尔奖得主、奥地利动物行为学家康拉德·洛伦兹（Konrad Lorenz）也持有相同的

看法。他在1949年出版的著作《狗的家世》（*Man Meets Dog*）中推动了以下观念的发展：家养的犬种分属两大类，一类来源于豺（大多数），另一类来源于狼（洛伦兹自己的最爱，也包括松狮犬）。洛伦兹似乎根本没有证据来证明他的二分法，凭借的只有他认为自己所见的不同品种在个性和特征方面的差异。此事一直没有定论，直到分子遗传证据出现，才解决了问题。现在已经没有疑问了——家犬的祖先根本不是豺。所有品种的狗，都是经过改变的狼，而不是豺、郊狼或狐狸。

对于驯化，我想引出的要点是它改变野生动物形状和行为的惊人力量，以及同样惊人的改变速度。育种家几乎像是泥塑师，有用不完的、可揉捏的黏土；或者像是挥舞着刻刀的雕刻家，一时兴起就能雕刻出狗、马、牛或白菜。我稍后将再回顾这一场景。与自然进化相关联的是：虽然（驯化）选择者是人类而非自然，但在其他方面，这一过程与自然进化完全相同。这也是达尔文会在《物种源始》的开篇突出强调驯化（家养）的原因。任何人都可以通过人工选择理解进化的原理。通过自然选择也同样可以——自然选择只是变动了一个小小的细节。

严格地说，育种家/雕塑家雕刻的不是狗或白菜的身体或形态，而是品种或物种的基因库。“基因库”的概念，在名为“新达尔文主义综合论”的知识体系中，居于中心。达尔文对此则闻所未闻。“基因库”不是达尔文智识世界的一部分，其实“基因”也不是。达尔文当然知道特征会在家族中传递，也意识到后代往往像他们的父母和兄弟姐妹；知道有着特定特征的狗和鸽子品种是纯正繁殖的。“遗传”是其自然选择理论的中心板块之一，但“基因库”则是另外一回事。只有在孟德尔的遗传微粒独立分配律和自由组合律的光芒之下，基因库的概念才有意义。尽管奥地利修士、遗传学之父乔治·孟德尔（Gregor Mendel）是达尔文的同代人，但达尔文始终都不知道孟德尔

的定律。孟德尔在一家德语期刊上发表了自己的发现，但达尔文从来没有读到过。

孟德尔概念的基因是一种“要么完全表现，要么完全不表现的实体”。在被孕育的时候，你从父方遗传到的东西和你从母方遗传到的东西，并不是像红蓝颜料那样，混合而得到紫色。如果这“颜料混合”是遗传起作用的实际方式（这是达尔文时代人们的模糊想法），我们所有人都将是中等的平均体，是我们父母的折中。在这种情况下，所有的变异会在种群中迅速消失（无论你如何勤奋地混合紫色颜料和紫色颜料，你永远都不能还原出原来的红色和蓝色）。当然，事实上，任何人都可以清楚地看到，种群中的变异并没有这种内在减少的倾向。孟德尔（定律）表明，这是因为当父亲的基因和母亲的基因在一个孩子身上结合时并不像是颜料的混合，而更像是一副扑克的洗牌和重新发牌（孟德尔当时没有使用“基因”这个词，“基因”一词直到1909年才被造出来）。如今，我们知道基因是各种长度的DNA密码，并不像扑克那样在物理上是独立的，但上述原则仍然有效。基因不融合，它们随机地“洗牌”。你可以说它们被洗得很糟，因为在碰巧有机会把它们拆开之前，经过几代人洗牌的扑克组合，在洗牌时仍然会互相黏在一起。

你的任何一个卵子（如果你是男性则是精子）所包含的具体基因，都或者是你父亲版本的基因，或者是你母亲版本的基因，而不是两者的融合。这特定基因来自你四位祖父母的其中一位，并且只来自这一位。同样，它来自你的八位曾祖父母中的一位，且只来自这一位。注

事后诸葛亮们会说：这些都应该是显而易见的。男女结合，你会期望得到一个儿子或女儿，而不是阴阳人注。事后诸葛亮们还说：关于每一个性状的遗传，任何悠闲自在的人，都可以总结出这个要么完全表现，要么完全不表现的原则。有趣的是，达尔文本人正隐约地要

意识到这一点，但他止步于此，功亏一篑，没有得到完整的联系。1866年，他在给华莱士的一封信中写道：

> 我亲爱的华莱士：
>
> 我觉得你还不明白我所说的某些品种“不混合”的意思。它并不是指不育。下面将以实例进行解释。我把香豌豆（the Painted Lady）和紫色甜豌豆（Purple sweet peas）进行杂交。它们是颜色各异的品种，但我甚至在同一个豆荚中，得到了两个品种的豆粒，而没有（两个品种的）中间物。我应该想到，你的蝴蝶必定首先也会发生这种事情……虽然这些情况看起来是如此美妙，但我不认为它们比世界上的每个雌性都生出完全雄性或雌性的后代更有意义。

达尔文差一点就发现了我们现在所称的“孟德尔基因分离定律”（基因一词是我们现在的说法）。[注]这个情况类似于各种愤愤不平的争辩家的说法——他们声称，早在达尔文发现自然选择之前，维多利亚时代的其他科学家就已经发现了自然选择——如帕特里克·马修（Patrick Matthew）和爱德华·布莱斯（Edward Blyth）。达尔文也承认，这从某种意义上说是事实。但我认为，有证据表明，那些科学家根本不明白自然选择是多么重要。与达尔文、华莱士不同，他们并没有把自然选择看作具有普遍意义的一般性现象，没有看到它有力量驱动所有生物向正面改良方向演变。同样，这封写给本·华莱士的信表明，达尔文差点就成功得出基因分离定律了。但是达尔文并没有看到现象的普遍性，尤其是他并没有把它当成“为什么变异不会在种群里自动消失”这个谜题的答案。这个（问题的）解答留给了（沿着孟德尔的超时代发现继续工作的）20世纪的科学家。[注]

至此，“基因库的概念”开始变得有意义了。举个例子来说，一个有性繁殖的种群——英国海外领地阿森松岛（Ascension Island）

的老鼠，被隔离在遥远的南大西洋，在岛上不断对所有基因进行洗牌。对于每一代的老鼠，没有内在倾向使它们变得比上一代缺乏变异，也没有朝着更暗淡的灰色及中等个头的中间型变化的倾向。基因保持不变，通过“洗牌”从一只个体的身体传衍到另一只个体的身体，代代相传；但彼此不相融，也从来不互相污染。在任何时候，基因都包含在每一只老鼠个体的体内，或者正在通过输精管进入新的老鼠体内。但是，如果我们透过长远眼光观察几代老鼠，我们可以看到，岛上所有老鼠的基因正在混合，仿佛是一副被洗得很好的扑克里的牌——这是一个单独的基因库。

我猜想，小且孤立的岛屿（如阿森松岛）上的老鼠基因库是一个独立的、搅拌得相当均匀的库，因为任何一只老鼠的近祖都可能住在岛上的任何地方，而不大可能住在该岛之外（从船上偷渡而来的外来老鼠除外）。而在大片陆地上（如亚欧大陆），老鼠的基因库则更为复杂。一只居住在马德里的老鼠，其大部分基因来自居住在亚欧大陆最西边的祖先，而不是来自如蒙古或西伯利亚等地的祖先。这并不是因为对基因流设置了特殊障碍（虽然也的确存在障碍），而仅仅是因为距离太远。通过有性生殖的洗牌，把大陆一端的基因传递到另一端，是需要时间的。即使没有物理屏障（如河流或山脉），基因流跨越这么大片土地仍将非常缓慢，这使得基因库理应被评价为“黏稠”（viscous）。一只生活在符拉迪沃斯托克（海参崴）的老鼠，其大部分基因能回溯到东部的祖先身上。亚欧大陆的大基因库也会洗牌，正如阿森松岛上的一样；但因为所涉及的距离，这不会是均匀的洗牌。此外，部分障碍如山脉、大河或沙漠，将进一步阻碍均匀洗牌，从而将基因库分出结构并使其复杂化。这些复杂化并不会贬低“基因库思想”的价值。“经过完全均匀混合的基因库”是一个有用的抽象概念，就像数学家提出的一条完美直线的抽象概念。真正的基因库，甚至是像阿森松岛那样的小岛屿上的基因库，都只是（这一概念的）不完善的近似物，只是进行了部分洗牌。岛屿越小、越不具障碍，就越接近“完全均匀混合的基因库”这一抽象概念。

现在，总结一下基因库的思想：我们在一个种群里看到的每一只动物个体，都是它所处时代的基因库样本（或更确切地说，是其父母时代的样本）。基因库里的具体基因，并无内在倾向去增加或减少出现的频率。但是如果我们看到了“某一具体基因”在库中的频率系统性地减少或增加了（这恰恰是“进化”的意思），那么，问题就变成了：为什么基因频率会系统性地增加或减少？当然，事情从此开始变得有意思了——我们会在适当的时候讨论此事。

一些有意思的事发生在家犬基因库里。纯种小狮子狗或斑点狗的育种家精心安排、煞费苦心地阻止基因从一个基因库跨越到另外一个基因库。良种登记册被精心保存，可追溯许多世代，而对于纯种狗的育种家来说，登记册中提及的混血是最糟糕的事情。“保持纯种，不杂交”就好像令每个品种的狗都被圈养在各自的阿森松小岛上，同任何其他品种隔离开来。但防止杂交的屏障不是蓝色的海水，而是人类的规则。动物品种在地理分布上都会有所重叠，但因为它们的主人监督其交配机会，使它们很可能事实上处于独立的岛屿上。当然，规则不时地会被打破。比如老鼠会偷偷地登上一艘开往阿森松岛的船，或者一只惠比特母犬会逃脱拴着它的皮带而和一只可卡犬交配[注]。杂交出来的小狗，虽然作为个体很惹人喜爱，但是它们已经脱离了贴有“惠比特纯种犬标签”的“小岛”。不过，“小岛”本身仍然是一个“纯粹的惠比特犬岛”。其他纯种惠比特犬保障了贴有惠比特犬标签的虚拟岛屿这一“基因库”继续不受污染。数以百计的人造岛，每一个都适用于繁殖纯种狗。每个岛都是虚拟岛屿，不具有地理局限的意义。人们在世界各地都可以见到纯种的惠比特犬或波美拉尼亚犬（即博美犬），并且用汽车、船舶、飞机把基因从一地运送到另一地。虚拟的遗传岛屿中，狮子犬基因库、拳师犬基因库及圣伯纳德犬基因库在地理上重叠，但并非基因层面上的重叠（除非母犬打破了界限）。

现在，让我们回到开启基因库话题时的观点。我说过，如果将人类育种家视为雕塑家，那么他们正用刻刀雕刻的不是狗的血肉，而是

基因库。但在我们看来，那就是狗的血肉，因为育种家可能宣称，他们意图缩短未来几代拳师犬的鼻子。这种意图的最终产品的确将会是一个短吻，就好像刻刀被施加到了其祖先的面部。但是，正如我们所看到的，任何一代的任何一只典型拳师犬，都是当时基因库的取样。它是历经了多年雕刻和削减的基因库。长鼻子的基因已经被刻刀剔出了基因库，换上了短鼻子的基因。每一个品种的狗，从达克斯到达尔马提亚，从拳师犬到猎狼犬，从贵宾犬到狮子犬，从大丹犬到吉娃娃，都已经被雕磨、凿刻、揉捏、成形，这不是指字面上的肉和骨，而是其基因库。

基因库并不是完全由雕刻完成的。许多我们熟悉的狗的品种最初源自与其他品种的杂交，往往是在近代才开始的（如19世纪）。当然，“杂交”代表着蓄意侵犯孤立的虚拟岛屿上的基因库。一些杂交方案的设计会有这样的顾虑——育种家讨厌把他们的产品称为混种或杂种（奥巴马总统则乐于这样调侃地称呼自己）。“拉布拉多贵宾犬”是标准贵宾犬和拉布拉多犬之间的杂种，是为了追求兼得两个品种的最好优点而精心培育出来的结果。拉布拉多贵宾犬的主人们已经建立了社团和协会，就像那些纯种血统的狗的主人所做的一样。在拉布拉多贵宾犬爱好者和杂交设计者当中，有两个思想派别。有些人很乐意继续通过拉布拉多犬和贵宾犬杂交来得到拉布拉多贵宾犬。另外有些人则试图建立一个新的拉布拉多贵宾犬基因库，从而培育出内部交配可纯系繁殖的拉布拉多贵宾犬。目前，第二代的拉布拉多贵宾犬的基因重组产生的变型较多，多于纯系繁殖的狗所应表现的变型。这正是许多“纯正”品种如何得以开端的——它们经过一个高度变异的中间阶段，随后通过一代又一代的精心繁育而缩减变异。

有时候，新品种的狗来源于某一次主要的单一突变。突变是基因的随机变化，构成了非随机选择的进化的原材料。在自然界中，巨大的突变很少能够存活，但是遗传学家却很喜欢在实验室里见到巨大突变，因为这样便于研究。腿很短的品种（如巴吉度猎犬和腊肠犬）在

单独的（育种）步骤中，需要它们通过基因突变获得软骨发育不良（的性状），这是不可能在自然条件下生存的大突变的典型实例。类似的一种基因突变会导致最常见的人类侏儒症：侏儒的身体躯干接近正常人大小，但是他们的腿和手臂很短。还有其他的遗传基因路线，能产生保留原种各项比例的“缩小型品种”。狗的育种家选择组合几个主要的突变（如软骨发育不全）和大量的微小基因，就可以实现大小和形状上的变化。他们并不需要了解遗传学，就可以有效地实现改变。即使对遗传学一无所知，仅仅通过选择哪个品种该与哪个品种交配，你也可以繁殖出各种你所想要的种类。在无人了解遗传学知识之前，这就是普通的育犬家、动物和植物育种者在几百年里取得的成就。并且，这里面自然选择还提供了一个教训——因为自然界对任何事情，当然都完全无知、无感。

美国动物学家雷蒙德·科平杰（Raymond Coppinger）曾阐述过这样的观点：相比成年犬，不同品种的小狗之间相似处更多。小狗不能承受外表不同的代价，因为它们主要做的事情就是吸吮母乳[注]，而对于所有品种的小狗来说，吸吮都是差不多同样的挑战。特别是为了在吃奶时取得有利地位，小狗不能像猎狼犬或寻回犬一样长着长鼻子。这就是为什么所有的小狗看起来都像哈巴狗。你也可以说，成年哈巴狗是一只脸没有长好的小狗。大多数狗会在断奶后长出一个相对较长的鼻子。但哈巴狗、牛头犬和狮子犬则不会出现这种情况。它们的其他部位会生长，然而鼻子保留其婴儿时期的比例。形容这一情况的术语是幼态持续（neoteny）。我们在第七章探讨人类进化时，会再次提到这个词语。

如果动物的所有部位都以相同的速度生长，令其成体仅仅是均匀膨胀的婴儿态的复制品，这叫等比例生长（grow isometrically）。等比例生长很少见。与之相反的是异速生长（allmetric growth），即不同部位以不同的速度增长。通常情况下，动物不同部位的生长速度彼此关联，呈现为一些简单的数学关系。这种关系被朱利安·赫胥

黎爵士（Sir Julian Huxley）在20世纪30年代特别研究过。不同品种的狗，通过能够改变身体各部分之间的异速生长关系的基因而长成各自不同的形状。例如，牛头犬从鼻骨增长放缓的遗传基因倾向中形成了它们的“丘吉尔怒容”。这对周围骨骼的相对增长速度有连锁效应，甚至也影响到周围所有的组织。连锁效应之一就是它的腭被拉入一个不合适的位置，所以牛头犬牙齿突出并有流口水的倾向。牛头犬还有呼吸困难的问题，狮子犬也深受同样的困扰。牛头犬甚至因为头大得不成比例，导致分娩都很困难。你今天看到的牛头犬，大多数都是通过剖宫产出生的（如果不是“全部”的话）。

俄罗斯猎狼犬则相反——它们的鼻子特别长。事实上，在它们出生之前，鼻子就已经开始不同寻常地长长了。这可能使得猎狼幼犬比起其他品种的幼犬来说，比较不善于吮吸母乳。科平杰推测，小狗试图吸奶、争取存活的能力，限制了人类想要猎狼犬长出长鼻的愿望。

从狗的驯化中，我们学到了什么教训？首先，种类繁多的品种（从大丹犬到约克犬，从苏格兰犬到艾尔谷犬，从南非猎犬到腊肠犬，从惠比特犬到圣贝尔纳茨犬）都证明了基因的非自由选择是多么容易——“雕刻和削弱”基因库很容易在解剖和行为方面产生真正的戏剧性变化，而且速度很快。参与的基因也少得出奇。然而，变化是如此之大，品种之间的差异是如此显著——以至于你可能以为它们的进化花费了上百万年时间，而非仅仅是几百年。如果在短短的几百年甚至几十年内可以实现这么大的进化性改变，那么想一想，在一千万年或一亿年里，可能会发生什么事情！

纵观几百年的进程，养狗人可以像捏黏土一样，抓住狗的身体，或多或少地按照自己的意愿推、拉、揉成一定的形状——这并不是空想。当然，正如我刚才所指出的，我们真正揉捏的不是狗的肉体，而是狗的基因库。“雕刻”（基因库）是一个比“揉捏”更好的比喻。一些雕塑家的工作是拿起一块黏土，然后揉捏成形。另外一些是拿起

一块石头或木头，用刻刀删减细枝末节的方式进行雕刻。显然，养狗发烧友们不会通过删减狗的部分肉体来使之雕刻成形。但他们所做的那些事情，接近于用删减法雕刻狗的基因库，不过比单纯的删减要更为复杂。米开朗琪罗（Michelangelo）对一大块大理石，削之减之，从而展现出藏于其中的大卫——并没有增加什么。但是，基因库却是不断扩增的，例如通过突变而增加；而同时，非随机死亡则会减少（库中的内容）。至此，雕塑（sculpture）的类比就完全不适用了，对这一比喻的推行不应该太执着，正如我们会再次在第八章看到的一样。

雕刻的概念呼吁人们关注肌肉过多的健美运动员体形和与之相似的非人类动物，如比利时蓝牛品种（Belgian Blue）[注]。这种“会走的牛肉工厂”是通过执行所谓的“双肌”（double muscling）这种基因改变而人工养成的。有一种叫“肌肉生长抑制素”的物质，能限制肌肉生长。如果产生肌肉生长抑制素的基因失效，那么肌肉就会生长得比平时更大块儿。通常情况下，有不止一种方法可以使得一个特定基因变异，并产生同样的结果。也确实存在许多使“肌肉生长抑制素基因”失效的方式，并具有同样的效果。另一个例子是一种叫作“黑色奇特”（Black Exotic）的猪。出于同样的原因，也有不同品种的狗的个体，表现出同样夸张的肌肉。人类健美运动员通过极端的锻炼计划，获得了类似的体魄，这往往是通过使用合成代谢类固醇而实现的——二者的环境操控都模仿了比利时蓝牛和黑色奇特猪的基因，最终的结果是一样的，并且这本身也是一个启示。遗传和环境的变化，可以产生相同的结果。如果你想培养一个能赢得健美比赛的人类小孩，并且你有几百年时间可用，你可以从基因操纵着手，建造与比利时蓝牛和黑色奇特猪有相同特征的怪胎基因。事实上，已知有一些人由于缺失肌肉生长抑制素基因，往往有超常发达的肌肉。如果你从一个变异的孩子着手，让他练习举重（恐怕不可能哄骗牛和猪去做这个事情），你很可能最终会看到比健美冠军“宇宙先生”（Mr Universe）更奇怪的人。

人类优生学育种的政治反对派有时会发出“这不可能”这种几乎肯定错误的断言。你可能听说过“这不仅是不道德的，也是行不通的”。不幸的是，说某样东西不道德，或在政治上不受欢迎，并不就意味着它是行不通的。我毫不怀疑，如果你下定决心，并有足够的时间和足够的政治权力，你就能够培养出一队优秀的健美运动员，或跳高运动员、铅球运动员、采珠人、相扑手，或短跑运动员，以及卓越的音乐家、诗人、数学家或品酒师（虽然我猜想，要养成后面这几类人，会因为没有动物的先例而信心不足）。对于竞技实力的选育，我深信这种培育法的理由是：培育运动实力所需要的特质，非常类似于培育赛马、拉货车的马、赛狗和雪橇犬过程中所明确起作用的因素。对于智力或其他人类独有特征的选择性育种的实际可行性（虽然在道德或政治上不是那么可取），我仍然有相当大的信心，这是因为尝试动物选育的例子很少失败，甚至是那些可能令人惊奇的性状也能被成功地培育出来。例如，谁曾想到，狗可以被培育成牧羊犬，或可以“指路”甚至斗牛？

你想要高产奶量的奶牛，产奶量高出母牛哺乳小牛所需的几个数量级吗？选择性育种可以帮你实现！奶牛（的基因）经过操控调试，可以生长出巨大、笨拙的乳房。给小牛正常断奶后不久，母牛的乳房仍会继续无限地生产大量牛奶。虽然还没有按这种方式培育过产奶的“奶马”，但有没有人跟我打赌——如果我们努力去做，就能做到？当然，如果任何人想去尝试，这也同样适用于人类的哺乳。太多的女人，深受神话的迷惑，认为乳房又大又圆犹如瓜果就会充满吸引力。她们付大笔的钱给外科医生，植入硅胶，却得到了没有吸引力的结果（对于我的钱来说）。如果给出足够多的世代，可以按照产生黑白花奶牛的选育方式，产生同样的乳房变形——有任何人会怀疑吗？

约25年前，我开发了一款电脑模拟程序，来阐明人工选择的强大力量。那是一款类似于养殖玫瑰（或狗、牛）得大奖的电脑游戏。玩家要面对屏幕上排成一列的9个形状——“电脑的生物形态”。位于阵

列中间的那一个是周围其他8个的“亲本”（parent）。所有的图形是在十二三个“基因”的影响下构造而成的。这些“基因”仅仅是从“亲本”传递到“后代”的数字，可能有微小的“突变”介入其中。一个突变仅仅是在亲本基因的数值上轻微地增加或减少。每个形状都是在某组特定数字的影响下构造而成的，这组数字就是这十几个基因各自的特定值。玩家盯着9个形状排成的阵列，他看不到基因，只是倾向于从中选择自己喜欢培育的“身体”形状。其中8个生物形态从电脑屏幕上消失，被选择的那一个滑动到屏幕中央，又“生出”8个变异的“新生儿”。只要玩家有足够的时间反复玩，那么这个过程可以重复许多代，并且屏幕上的“有机体”的平均形状会随着代代传承而逐渐“进化”。从上一代传递到下一代的，只有基因；因此，玩家通过肉眼直接选择生物形态，是在无意中选择了基因。这正是育种者在选择狗或玫瑰育种繁殖时会发生的事情。

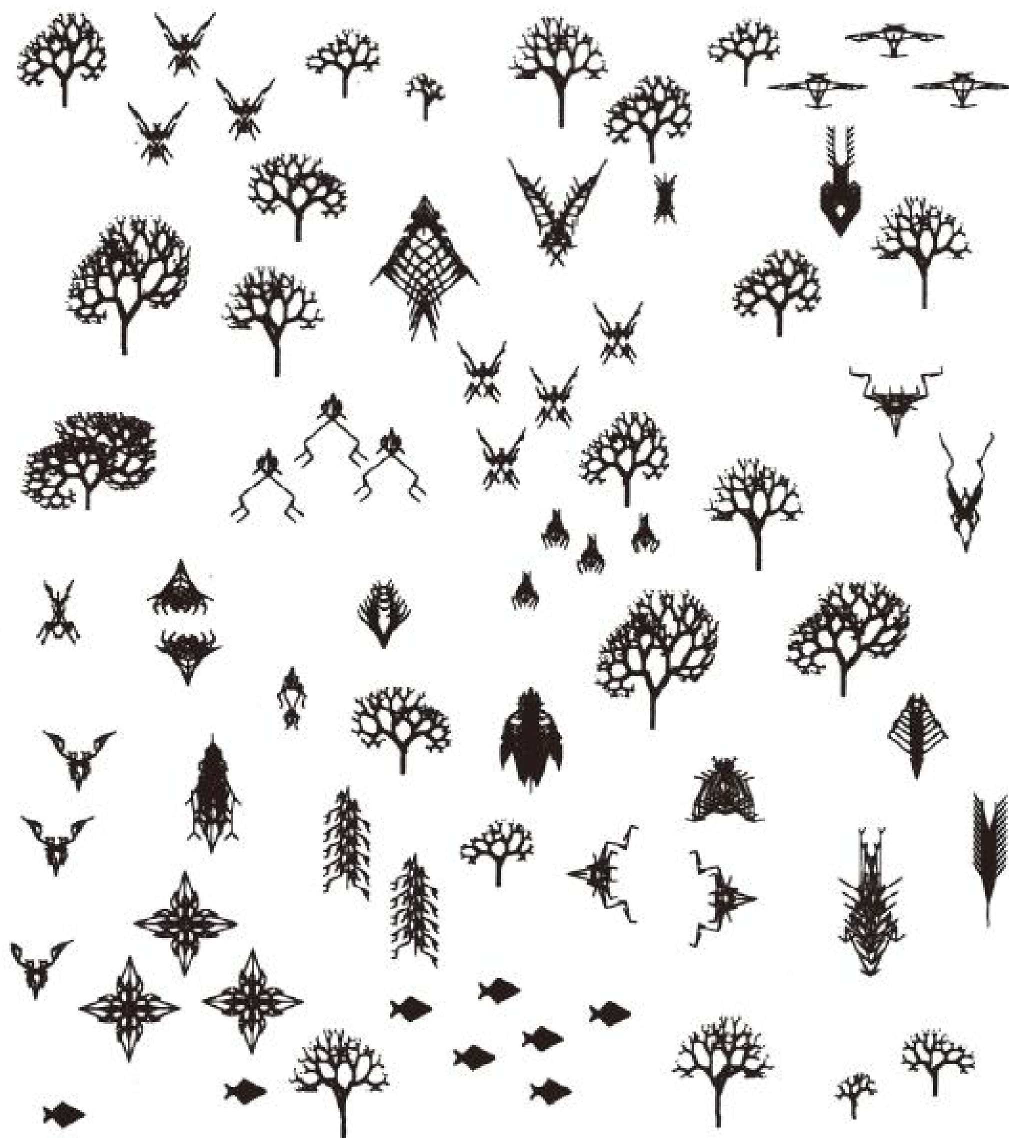


图2 “盲眼的钟表匠”程序中的生物形态

关于遗传学，就说到这里。当我们考虑到“胚胎学”（embryolygy）时，游戏开始变得有趣了。在屏幕上，一种生物形态的胚胎发育是其“基因”（这些数值）影响其形状的过程。可以想象出来许多大不相同的胚胎机制，并且我已经把一些付诸电脑编程。我的第一个程序，叫作“盲眼的钟表匠”（见图2），使用树状生长的胚胎。一个主要的“树干”生长出两个“枝丫”，然后每个枝丫长出两个属于自己的分支，以此类推。分出的枝丫的数量、角度和长度，都受遗传控制，取决于基因的数值。分支的树状胚胎有一个重要特征

——递归。我不会在这里详述这一概念。但它指一个单一的突变通常对整棵树都会产生影响，而不是仅仅局限于一隅。

虽然“盲眼的钟表匠”这一程序，始于一个简单的分支树状图，但它总是能迅速地漫游到生物进化的奇境里。许多进化产物都具有一种异样的美感，另外一些则取决于人类玩家的意图，而类似于人们熟悉的生物，如昆虫、蜘蛛或海星。左边是一个“动物狩猎园”，在这奇特的电脑奇境的小路边、死水处，只有一个玩家（我）。在更高版本的程序中，我扩大了其胚胎机制，以允许基因控制树的“枝丫”的颜色和形状。

有一款更精致的软件叫“节肢动物形态”（Arthromorphs），是我在苹果电脑公司工作时，和泰德·卡勒（Ted Kaehler）联合写出来的。它具有“胚胎学”的一些有趣的生物学特性，特别适合繁殖“昆虫”、“蜘蛛”、“蜈蚣”和类似节肢动物的其他生物。我已在《攀登不可能的山峰》一书中，详细地解释过节肢动物形态，以及生物形态、软体动物形态（电脑生成的软体动物）和这一系列的其他程序。

碰巧的是，贝壳胚胎的数学机制很好理解，所以用我的“软体动物形态”程序进行人工选择，能够产生极其逼真的生物形式（见图3）。在最后一章，我将回头再说这些软件，以阐明一个完全不同的问题。我在这里介绍它们，是为了说明：即使是在一个极其过度地简化的计算机环境里，人工选择的力量仍然非常强大。而在农业和园艺业的现实世界、信鸽爱好者或育犬家的世界，人工选择可以实现更多东西。“生物形态”、“节肢动物形态”、“软体动物形态”这些程序只是照亮、启发了原理，正如下一章里，人工选择将照亮、启发自然选择幕后的原理一样。

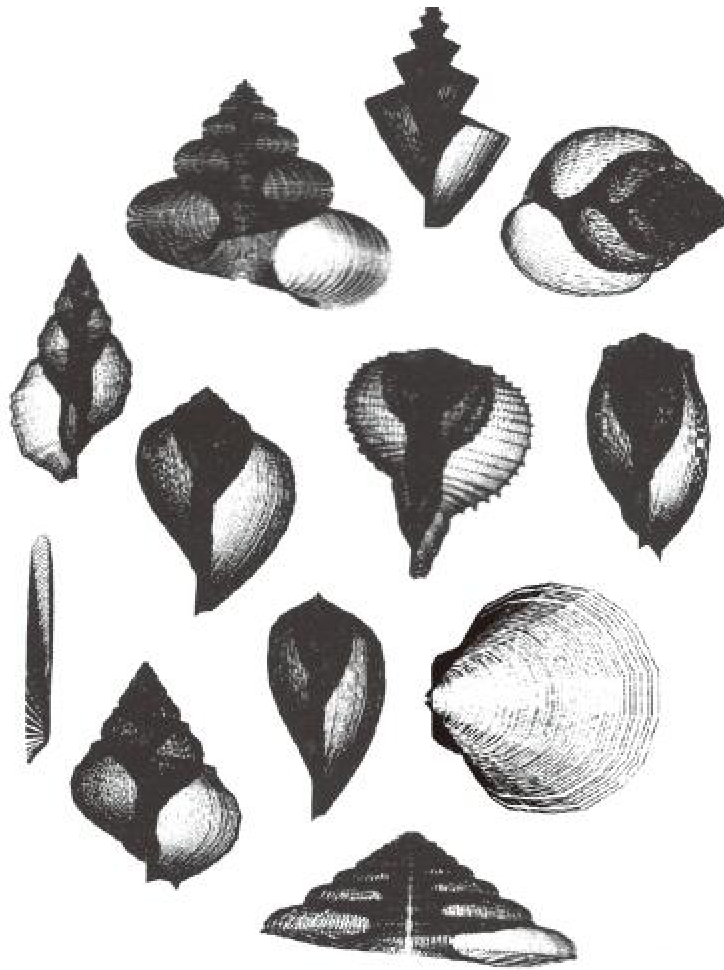


图3 软体动物形态：电脑生成的人工选择贝壳形态

关于人工选择的力量，达尔文有第一手的经验，并且给予其傲人的地位——写在《物种源始》第一章。达尔文在循循诱导他的读者，使他们能接受自己的伟大洞察，服膺自然选择理论的强大力量。如果在短短的几百年或几千年内，人类育种能够把一种狼改造成一种狮子犬，或把野白菜变成菜花，那么在超过千百万年的时间里，为什么非随机性生存的野生动植物不能做同样的事呢？这将在我的下一章中得出结论，但我的策略首先将是继续这个动摇、诱导过程，以利于过渡到对“自然选择”的理解。

---

1. 狗那么可爱，谁会不喜欢！

2. 按照孟德尔的遗传学模型，完全就是这样；在20世纪50年代的沃森－克里克（Watson-Crick）革命之前，所有生物学家都遵从这个模型。它接近于正确，但并不完全正确，因为我们现在已知道基因是长长的DNA链。对于实践的目的，我们可以视之为真。

3. 我的童年在一个农场度过，那里有一头名为阿鲁沙（Arusha）的奶牛，极其吵闹好斗，是个令人头疼的刺儿头。一天，牧民埃文斯（Evans）先生懊丧地说："依我看，阿鲁沙更像是斗牛和奶牛交配生的杂种。"

4. 有一个流传很久的，但错误的传言，说达尔文有一册装订好的孟德尔发表其研究成果的德语期刊，但在达尔文死后，人们发现相关的页面未被切开。这可能来源于他有一本福克（W. O. Focke）所著的《论植物种族的混合》（*Die Pflanzen-mischlinge*），其中确曾简要提及孟德尔，而相关页面在达尔文的藏书中也确实未被切开。但福克并没有特别强调孟德尔的工作，也没有证据表明福克理解了孟德尔工作的深刻意义，因此，即使相关页面被切开了，达尔文也不一定会重视它。无论如何，达尔文的德文并不太好。如果他读到了孟德尔的论文，生物学的历史将会完全不同。可以说，即使是孟德尔本人都未能意识到自己的发现的全部意义。如果他意识到的话，他也许会写信给达尔文。在孟德尔位于捷克布尔诺（Brno）的修道院的图书馆里，我亲手拿着孟德尔本人的德语版《物种源始》，看到了他的批注，说明他确实读过这本书。

5. 这个理论始于1908年，由可爱、古怪又热爱板球的数学家哈代（G. H. Hardy）以及德国医生威廉·温伯格（Wilhelm Weinberg）分别独立提出，并在大遗传学家和统计学家罗纳德·费舍尔（Ronald Fisher）的工作中达到顶峰；在很大程度上，独立工作的共同发现者——群体遗传学家霍尔丹（J. B. S. Haldane）和休厄尔·赖特（Sewall Wright）也功不可没。

6. 惠比特犬是一种原产英国的运动型猎犬，可卡犬来自西班牙猎犬家族，是已知最古老的陆地猎犬之一。——编者注

7. 不是哺乳（suckle）：母亲哺乳，幼崽吮吸（suck）。

8. 又称比利时魔鬼筋肉牛，肌肉极其发达。——编者注

第三章 报春花的宏进化之路

第二章揭示了人类的眼睛经过许多代的选育，如何雕刻、塑造了狗的躯体；在形式、颜色、大小和行为模式等方面，培育了让人眼花缭乱的各种狗。但是，我们是人类，习惯做一些慎重和有计划的选择。有没有其他动物，做着像人类驯养者一样的事情？或许它们的“选择”不是慎重的或有意图的，但却得到了类似的结果？有，而且多亏它们令这本书的“诱导计划”稳步前进。本章致力于对读者的头脑进行一步一步的“诱导”——从我们熟悉的狗类育种领域和人工选择开始，通过一些丰富多彩的中间阶段，过渡到达尔文的伟大发现——自然选择。“诱导之路”的第一个中间步骤，是带领我们进入一个甜蜜的花儿世界。称之为“报春花之路”是否言过其实？

野玫瑰是讨人喜爱的小花，很漂亮，但是并不值得被浓墨重彩地描述为“安宁”（Peace）、“窈窕淑女”（Lovely Lady）或“奥菲莉娅”（Ophelia）等。野玫瑰有一股明显的清淡芳香，但不像“纪念日”（Memorial Day）、“伊丽莎白·哈克尼斯”（Elizabeth Harkness）或“香云”（Fragrant Cloud）这些玫瑰品种那样香气袭人。人类靠眼睛和鼻子培育野玫瑰，增大它们、塑造它们，增添花瓣、增加花的颜色、改善花朵、提高天然香味到令人极端兴奋的程度、调整花的生长习性，最后让它们进行复杂的杂交，在几十年的娴熟选育之后，现在玫瑰有了数百个珍贵品种，每一种都有一个属于自己的、动听的或有纪念意义的名字。有谁会不喜欢以自己的名字命名一种玫瑰呢？

昆虫是最早的驯化者

玫瑰和狗一样，讲述了同样的故事，但有一点不同，并且这一点和我们的“循序诱导”策略相关。在人类的眼、鼻开始其基因修饰工作之前，玫瑰花的存在，要归功于昆虫的眼睛和鼻子（好吧，事实上是触角——昆虫的嗅闻器官）数百万年来非常类似的雕琢。同样的道理，也适用于美化我们花园的所有鲜花。

向日葵（*Helianthus annuus*）是一种北美植物，其野生形态的外形看起来就像翠菊或大雏菊。今天栽培的向日葵，其花盘的大小已经被驯育成餐盘那么大[注]。源于俄罗斯培育者的“猛犸向日葵”，高达12~17英尺，花盘的直径接近1英尺，是野生向日葵花盘大小的10倍以上，而且通常每棵只开一朵花，不像野生植株开多朵小花。顺便提一下，俄罗斯人是由于宗教原因，才开始培育这种美洲花的。在大斋节和基督降临节期间，东正教禁止在烹饪中用油。而因为我不知道的、亦不敢妄加蠡测的深奥神学原因，葵花籽油被认为不受这项禁令的限制[注]。这为选育这种向日葵，提供了经济动力。但是，距离现代很久之前，土著印第安人已经在培育这种营养丰富的神奇花朵，用于食物、染料和装饰；并且他们取得的成果已介于野生向日葵和极端奢华的现代品种之间。然而，在此之前，和其他所有鲜艳的花朵一样，向日葵的存在，要归功于昆虫的选育。

我们知道的大部分花同样是如此——这个说法基本上适用于所有不是绿色、气味不只是模糊的“植物味”的花。昆虫并没有垄断所有的工作——因为有些花的授粉者是蜂鸟、蝙蝠甚至青蛙，由它们完成最初的选育，但是，原理是相同的。园林花卉已经被我们进一步改善，但是，我们所着手的这些野花，之所以抓住了我们的注意力，首

先是因为昆虫和其他选育者在我们之前就已经发挥了作用。原始花朵世代相传，被世世代代的原始昆虫（或蜂鸟，或其他自然授粉者）所选择。这是“选择育种”的一个完美例子，它同人工选择育种的微小差别就是——育种者是昆虫和蜂鸟，而不是人类。至少，我认为区别不大——也许你不这么认为，因此，我仍然需要做一些“诱导”。

诱使我们认为这两者之间“区别很大”的原因，可能是什么呢？首先，人类的培育是有意识的，比如，有意识地去培育最深色的紫玫瑰；而且人们这么做，是为了满足一时兴起的审美趣味，或是因为他们认为别人会愿意出钱买它。昆虫培育花，不是为了欣赏，而是为了……好吧，这里我们需要退一步，看一看“花的整个谜题，以及花和它们的授粉者之间的关系”。下面是背景。有性繁殖的本质，就是不能自受精（我这里就不深究其理由了——毕竟，如果你进行自受精的话，就没有什么理由大费周章地进行有性繁殖了）。花粉必须通过某种方式，从一棵植株传到另一棵上。雌雄同体的植物（在一朵花上同时拥有雄性和雌性器官的植物）常常煞费苦心地长到某种长度，来阻止本花的雄性器官令本花的雌性器官受精。达尔文本人曾研究过报春花为实现这一点而采用的巧妙办法。

既然异花受精是前提，那么，同种的诸花如何跨越将它们彼此隔离的物理鸿沟，实现传播花粉这一壮举？一个明显的方法是：通过风，很多植物都利用风来传粉。花粉是一种细小、轻微的粉末。如果你在一个有风的天气，释放足够多的花粉，或许会有一两个花粉颗粒有幸落在适宜物种的花的恰当部位。但是，风媒传粉是一种浪费。花粉病患者知道，风媒传粉需要生产大量过剩的花粉。绝大多数的花粉颗粒落在了无用的地方，而不是它们应该去的地方，就这样浪费掉了所有的能量和昂贵的“原料”。花粉的“寻偶”，有更直接的方法。

为什么植物不选择像动物那样——可以四处走动，去寻找同种的其他植株，然后与之交配呢？这个问题比你可能想到的要更难。简单

地说“植物不行走”，这是循环论证[注]，但我恐怕现在不得不这么做。[注]事实上，植物不会走动，但是动物可以走动。而且动物会飞，它们的神经系统能指引它们朝向特定的目标，寻求合适的形状和颜色。所以，如果植物有办法说服一只动物使自己蒙受花粉，然后走向（或最好是飞向）另一株“对的物种”就好了……

好吧，答案并不是秘密：事情正是这样发生的。这些故事，在某些情况下是高度复杂的，不过都非常吸引人。很多花朵用食物（通常是用花蜜）来“行贿”。如果用“行贿”这个词太严重了，那你不妨称之为“支付服务费用”。只要我们不以人类之心来误解它们，我对这两种表述都没有意见。花蜜是糖浆，而且确切地说，植物生产花蜜，其特意的和唯一的目的，就是为蜜蜂、蝴蝶、蜂鸟、蝙蝠和其他受雇动物“付费和加油”。花蜜的生产成本很高，它汇聚了部分由叶子（植物的太阳能板）收集来的太阳能。从蜜蜂和蜂鸟的角度来看，花蜜是“高能航空燃料”。凝结在花蜜的糖分中的能量，本可以被用于植物经济的其他地方，或用于生根，或用于充实地下存储仓库（我们称之为块茎、鳞茎和球茎），或甚至用来向四面八方传播大量花粉。显然，大多数植物物种“权衡取舍”的结果是：赞成支付使用鸟虫翅膀的费用，以及为它们的飞翔肌“供油”。然而，这并不是一个完全压倒性的优势，因为有些植物的确利用风媒传粉，大概是因为它们经济状况上的一些具体情况，导致了另一种平衡。植物有一个“能源经济体系”，和任何经济体一样，在不同的情况下进行权衡取舍，可能会作出不同的选择。顺便提一下，这是进化中的重要一课。不同的物种采用不同的做事方式，而我们往往不能理解其中的差别——除非我们调查了该物种的整个经济状况。

如果风媒传粉处于一个异花受精的连续队列的一端——我们能否称之为“恣意挥霍的一端”？那么，处于另一端的是什么？“神奇子弹一端”？很少有昆虫可以像一颗神奇子弹那样，从某朵花获得花粉之后，径直飞向同一物种的另一朵花。有些昆虫只是飞向任何一朵老

花，或可能飞向颜色适宜的任何一朵花；能否恰巧飞向刚才付给它花蜜的花的同一物种的花，仍然要靠运气。尽管如此，仍然有一些可爱的例子——某些花正好位于那个连续队列的“神奇子弹一端”。群芳谱上名列前茅的是兰花，难怪达尔文会用整整一本书来写它们。

达尔文和华莱士（自然选择的共同发现者）呼吁关注一种来自马达加斯加的神奇兰花大彗星风兰（*Angraecum sesquipedale*，见彩页4），两人都作出了相同的了不起的预测，并在后来成功地得到了确证。这种兰花有管状的蜜腺，根据达尔文亲自用尺子测量，其向下延伸超过11英寸——也就是近30厘米。另一近缘种彗星兰属兰花（*Angraecum longicalcar*），花蜜轴的花距更长，长达40厘米（超过15英寸）。达尔文在他1862年出版的关于兰花的书中，仅仅根据马达加斯加兰花（大彗星风兰）的存在，就预测了必然存在一种飞蛾，其口器可长达10~11英寸。5年后，华莱士提到几种飞蛾的喙，长度几乎达到了要求（目前还不清楚他是否读了达尔文的著作）。

> 我已经仔细测量了大英博物馆收藏的来自南美洲的飞蛾*Macrosila cluentius*标本的喙的长度，发现它长达9.25英寸。一种来自热带非洲的飞蛾（*Macrosila morganii*）的喙长达7.5英寸。有一种飞蛾，其喙长达11英寸以上，可以触及最大的花——蜜腺长度在10~14英寸之间的大彗星风兰中的花蜜。也许可以稳妥地预测，马达加斯加岛存在这种飞蛾。登上这座岛屿的博物学家，可以抱有像天文学家寻找海王星那样大的信心来寻找它——并且将同样取得成功！

1903年，达尔文早已故去，长寿的华莱士尚健在，人们发现了一种前所未知的飞蛾，从而证实了达尔文与华莱士的预测，而且它被恰当地授予亚种名*praedicta*[注]。但即使是这种“达尔文先知蛾”（*Xanthopan morgani praedicta*）也不能很好、很充分地为*A. longicalcar*这种彗星兰属兰花授粉，于是，这种花的存在，鼓励我们

猜想存在一种更长喙的飞蛾，就像华莱士援引人们预测海王星的发现那样，我们应该怀有同样大的信心。顺便提一下，这个小例子又一次打碎了一个谎言（这类谎言宣称“进化科学不能预测，因为它只涉及过去的历史”）。达尔文与华莱士的预测仍然是一项完善有效的预测，尽管先知蛾这种飞蛾在他们预测之前就存在了。他们预测的是：在未来的某时，会有人发现一种喙足够长的飞蛾，可以触及（*A. sesquipedale*）这种兰花中的花蜜。

昆虫有良好的彩色视觉，但它们的整个视觉光谱偏离红光、偏向紫外光。它们像我们一样，能看见黄色、绿色、蓝色和紫色。但和我们不同的是，它们还可以看到紫外线区颇远的颜色；但它们看不见红色——这是“我们的光谱”的尽头端。如果你的花园里有一种红色管状花，那么极有可能（当然也不是必然）这种花在野外不是靠昆虫授粉，而靠鸟类授粉——鸟类可以很好地看到光谱的红端；如果是一棵新世界植物，也许是靠蜂鸟；如果是一棵旧世界植物，可能是靠太阳鸟。我们看起来平常的花，实际上可能已经为了昆虫的利益，而用斑点或条纹奢华地装饰过了，我们看不到纹饰，是因为我们看不到紫外光。许多鲜花染有人眼所看不见的紫外色素，以此标示小跑道，引导蜜蜂着陆。

我们看到的月见草（*Oenothera*）是黄色的。但是，通过紫外线滤器拍摄的月见草照片，显示了对蜜蜂有利的格局模式，这是我们正常视力无法看到的。照片中显示为红色，但这其实是“伪色”，是拍照过程中的一个任意选择。这并不意味着，蜜蜂会把它看成红色。没有人知道蜜蜂看到的紫色（或黄色或其他颜色）是怎样的。我甚至不知道你看到的红色是怎样的——这是一个古老的哲学话题。

开满鲜花的草地，是大自然的“时代广场”，是大自然的“皮卡迪利广场”（Piccadilly Circus）。随着不同的花进入花季，这些慢动作的霓虹灯，每周都在改变着——通过某些信号的仔细提示（如白

昼时间的变化）而与本种的其他花同步行动。这个花卉盛典——撒满整个草地的绿色帆布，已经被塑形和染色了；昆虫们（蜜蜂、蝴蝶和食蚜蝇）的眼睛过去作的选择放大和装扮了它们。在新世界的森林中，我们必须在名单中加上蜂鸟；在非洲森林里，名单上要加上太阳鸟。

顺便提一下，蜂鸟和太阳鸟并没有特别密切的亲缘。它们的外形和行为都彼此相似，因为它们趋同于同一种生活方式——主要围绕着花和花蜜展开的生活（尽管它们既吃花蜜，也吃昆虫）。它们有长喙来探测蜜腺，长喙甚至得到了更长的舌头的相助。太阳鸟在翱翔、盘旋上不如蜂鸟出色，蜂鸟甚至可以像直升机那样向后飞翔。同样趋同于这种谋生方式的是蜂鸟鹰蛾（虽然是从动物界中的另一遥远的位置）——另一位具有奇长舌头的翱翔大师（所有三种类型的“花蜜迷”如彩页5所示）。

在恰当地理解了自然选择后，我们在本书中会再讲趋同进化。在本章中，花儿在一步一步地引诱、吸引着我们，让我们逐步达到恰当的理解。蜂鸟、鹰蛾、蝴蝶、食蚜蝇、蜜蜂，都用挑剔、批判的眼光，看着这些野花，它们一代代地给花儿塑形、着色、增大、添花样和点彩，几乎就是采用后来人类的眼睛对待我们花园中的各种花卉同样的方式——人类的眼睛也用同样的方式对待狗、牛、白菜和玉米。

对于花来说，昆虫授粉代表着授粉效益上的巨大进步，比浪费的、无目的的风媒传粉更先进，即使一只蜜蜂不加选择地光顾花，跌跌撞撞地、胡乱地从毛茛到矢车菊、从罂粟到白屈菜，花粉颗粒贴着它毛茸茸的腹部，可能也会比风媒传粉有更大机会“击中”正确目标——同一物种的第二朵花。稍微好一点的情况是：蜜蜂偏好特定的颜色，比如蓝色。或者一只蜜蜂，虽无任何长期的色彩偏好，但往往形成短期的色彩习惯，因此它会在飞行中选择颜色。更好的情况，将是一种昆虫只光顾一个品种的花。有一些花，像激发达尔文与华莱士预

测的马达加斯加兰花，它们的花蜜只提供给某些专注于它们，并从中获得垄断利益的昆虫。那些马达加斯加飞蛾是登峰造极的“神奇子弹”。

从飞蛾的角度来看，可靠地提供花蜜的花，就像温顺、多产的摇钱树。从花的角度来看，飞蛾把花粉可靠地传给同种的其他花，就像一种合算的“联邦快递服务”或像训练有素的信鸽。可以说，每一方都在驯养着另一方、选择性地繁殖对方，以使它们比先前更好地工作。人类培育名贵玫瑰，就像昆虫培育花朵一样，取得了几乎一样的效果——只是稍微夸大了它们一些而已。昆虫将花培育得明亮、艳丽，园丁则令它们更加明亮、艳丽。昆虫让玫瑰充满了令人愉快的芳香，我们延续着这些工作，让它们更具芳香。顺便说一下，蜜蜂和蝴蝶喜欢的香味恰巧也合我们的心意，这是一个幸运的巧合。一些花，像直立延龄草（*Trillium erectum*）或巨花魔芋（*Amorphophallus titanum*）利用肉蝇或腐尸甲虫来授粉，常常让我们感到恶心，因为它们味道酷似腐肉。我认为，这些花没有通过人类的培育来改善气味。

当然，昆虫和花朵之间的关系是一种“双向车道”，我们不能只盯着一边，必须同时察看两个方向。昆虫可能在“培育”花朵，使其更加漂亮，但这不是因为它们欣赏美[注]。反过来呢，花朵被昆虫认为有吸引力，则令花从中受益。昆虫，通过选择光顾最有吸引力的花朵，无意中“培育”了花朵的美丽。同时，花朵则“培育”了昆虫授粉的能力。而且，我已经表明，昆虫培育花朵，使其拥有高产量的花蜜，就像奶农培育产奶量高的荷兰奶牛。但“限量分配花蜜”则是花朵的利益所在——饱餐后的昆虫，就没有动机再继续寻求第二朵花了——这对第一朵花来说，是一个坏消息；而第二次光顾——为授粉而光顾，才是整个行动的意义所在。从花的角度来看，必须在提供“花蜜过多”（无须再光顾第二朵花）和“花蜜过少”（没有动力去光顾第一朵花）之间，维持一个微妙的平衡。

昆虫从花朵中吸取花蜜，并且培育它们增加产量——这可能会遭受来自花的抵抗，正如我们刚才看到的那样。养蜂人（或心里为养蜂人着想的园艺师）是否曾培育了花蜜产量更高的花，就像奶农培育弗里生（Friesian）奶牛和娟姗（Jersey）奶牛？我很好奇地想知道答案。同时，毫无疑问，园艺师作为香美花朵的培育者，很像他们的自然界“同行”——这些“同行”包括：蜜蜂和蝴蝶，蜂鸟和太阳鸟。

---

1. 菊科的所有成员的每一朵“花”其实是很多小花（floret）聚集在中间的暗色盘上。向日葵周边的黄色花瓣实际上只是位于边缘的小花的花瓣。在花盘其余部分的小花也有花瓣，但因为太小无法被察觉。

2. 也许是因为向日葵是新大陆的植物，所以没有被《圣经》明确提到。神学家喜欢制定精细的饮食规则以巧妙地回避《圣经》的规定。在南美洲，为了符合天主教星期五饮食规则，水豚（某种巨豚鼠）被认为是鱼的一种。据美食作家多丽丝·雷诺兹（Doris Reynolds）的描写，法国的天主教美食家发现了一个可以让自己在星期五吃肉的漏洞：他们将羊腿放入井中，然后“钓”出来（“fish”it out）。他们一定认为上帝是很容易被欺骗的。

3. 循环论证（circular argument），用来证明论题的论据本身的真实性要依靠论题来证明，是逻辑错误的一种。——编者注

4. 英国科学家与编辑奥利弗·莫顿（Oliver Morton）在他的一本辛辣的抒情书《吃太阳》（*Eating the Sun*）里讨论过这个及相关问题。

5. Praedicta，意为“被预言的”。——编者注

6. 起码没有理由认为它们欣赏美，或者它们会在我们所理解的意义上享受某事物。我将在第十二章回到这个永恒的关于诱惑的话题。

你是我的自然选择

有没有其他的非人眼选育的例子呢？哦，有的。想一想灰暗的、生有保护色羽毛的母雉鸡与同一物种的“漂亮雄性”相比的差别。似乎毫无疑问，如果它的个体生存是唯一重要的事，那么金黄色的公雉鸡会“偏向”长得更像母雉鸡，或者像它本身的小鸡的“成人版”。母鸡和小鸡显然有很好的伪装；而如果个体生存是公鸡的首要事务，公鸡也会大肆伪装。其他的雉鸡，如白腹锦鸡和常见的环颈雉也应该照此办理。公鸡外表色彩艳丽，能吸引捕食者，这种装束非常危险，但是每个物种却都以非常不同的方式各展雄艳。母鸡则都加以伪装，颜色暗淡无光，且每一个物种都采用大致相同的方式（图4）。这是怎么回事呢？







图4 各种各样的鸡：三幅插图来自达尔文的著作《动物和植物在家养下的变异》

用达尔文的方式来说，这是性选择。但用另一种方式（一种更适合我的“报春花之路”的方式）来表达，则是“雌性对雄性的选育”。鲜艳的色彩确实可能吸引天敌，但它们也吸引雌雉鸡。世世代代的母鸡选择同容光焕发的艳丽公鸡交配，而不是和晦暗的棕色公鸡交配，后者虽然容易生存下来，但不会被雌性选中来繁育后代。同样的事情还有雌孔雀选择雄孔雀来繁衍，公园的雌极乐鸟选择雄极乐鸟来繁衍，还有很多鸟类、哺乳类、鱼类、两栖动物、爬行动物和昆虫的其他例子——都是雌性（通常是雌性而不是雄性，对于原因我们不

需要探究）从相互竞争的雄性中选择交配对象。比如，与花园里的花一样，人类雉鸡培育者已经在母雉鸡之前所做的选育的基础上，做出了改进，培育出了艳丽的、各种各样的金鸡，尽管这些鸡更多的是通过挑选一两个主要变异而培育出来的，而不是历经很多世代的培育才逐渐成形。人类也有选择性地饲养出一些惊人品种的鸽子（如达尔文第一手知道的）和鸡，后者是来自远东的一种鸟［红原鸡（*Gallus gallus*）］的后裔。

本章主要关注通过眼睛作出的选择，但其他感官可以做同样的事情。育种者已经根据歌唱技巧和外形来培育金丝雀。野生金丝雀是一种淡黄棕色的雀鸟，看起来貌不惊人。人类选育者已经接管了其由随机变异构成的调色板，调制出一个足够鲜明的颜色，以该鸟的名字来命名——金丝雀黄（canary yellow）。顺便说一下，这种鸟本身是以岛屿［加那利群岛（Canary Islands）］来命名的[注]，而不像加拉帕戈斯群岛（Galapagos Islands）那样相反地以龟为岛命名（它的名字源自一个西班牙语单词，意思是龟）。但金丝雀以鸣声著称，这也已经被育种者调整并丰富了。人们已经培育了各种鸟类歌手，包括德国萝娜金丝雀（Rollers），它已经被培育成闭着嘴歌唱的鸟；比利时唱鸟水音芙蓉（Waterslagers）的声音听起来像水在冒泡；西班牙唱鸟汀钹拉多（Timbrados）发出一种金属般的清脆声音，混杂着像响板一样的鸣声，与其西班牙起源相称。家养培育出的鸟，比野生的祖先型的歌声更悠长、更清亮、更频繁。但是，所有这些非常珍贵的歌声，都是由存在于野生金丝雀身上的元素组成的，就像不同品种的狗的习性和技巧，它们起源的元素见于狼的行为和技能之中[注]。

再次地，人类育种家是立足于早先雌鸟的选育努力之上的。一代又一代，野生雌金丝雀选择歌声特别有吸引力的雄性，与之交配，无意中根据它们的歌唱实力培育出雄金丝雀。碰巧，我们对这种特定情况下的金丝雀（选育）知道得比较多。研究激素和生殖行为的科学家，已经把金丝雀［和巴巴里鸽（Barbary doves）］当成了最喜欢的

研究对象。据了解，这两个物种，雄性发出的声音，会引起雌性的卵巢肿胀，并分泌激素，使它们进入生育状态，做好更充分的交配准备（甚至播放磁带录音也会有此效果）。可以说，雄金丝雀通过唱歌给雌性听，来操纵它们，这就像是给雌性注射了激素。也可以说，雌性选择性地培育雄性，使它们更加擅长唱歌。两种看问题的方式，是一枚硬币的两面。顺便说一下，与其他鸟类一样，这里还有一个伴生现象：歌声不仅吸引雌性，还会威慑与其竞争的其他雄性——但我抛开这一方面不讲。

现在，我们继续讨论，请看下面的两幅图片。图5是日本歌舞伎面具的木刻画，代表一名武士。图6是一种螃蟹——发现于日本海域的日本平家蟹（*Heikea japonica*）。属名“平家蟹属”（*Heikea*）源自日本的平氏家族，他们在坛之浦（Danno-ura）海战（1185年）中被对手源氏家族击败。有传言说溺水的平家武士的鬼魂，现在附着在海底的日本平家蟹的体内。这种蟹背面的图案似乎印证了这一神话传说，图案类似于一个武士的凶狠鬼脸。著名动物学家朱利安·赫胥黎爵士对这一形象印象深刻，写道：“关公蟹（*Dorippe*）与愤怒的日本武士之间的相似，非常具体、细致入微，这不可能只是巧合……这是因为，那些螃蟹与武士的脸有着更完美的相似之处，因而较别的蟹更少被吃掉。”（*Dorippe*是1952年赫胥黎写作时对它的称呼，1990年它恢复了*Heikea*的属名，因为当时有人重新发现，它早在1824年就被如此命名了——这是动物命名的严格的优先原则。）



图5 武士（图案）的歌舞伎面具



图6 平家蟹

这个理论认为，一代又一代迷信的渔民，把类似人类面孔的螃蟹扔回了大海。1980年,卡尔·萨根在他奇妙的《宇宙》（*Cosmos*）一书中讨论了这个理论，并提出了新的论据。按照他的说法：

> 假设在这种蟹的远祖中，碰巧出现了一只类似人脸的，即使只是略微类似的蟹。实际上在坛之浦海战之前，渔民可能就不愿吃这种蟹。把它扔回去后，它们开始了一个进化过程……随着螃蟹和渔民的代代相传，有着最像武士脸图案的螃蟹优先存活下来，直到最终产生出的不只是一个人的脸，不只是一个日本人的脸，而且是一个凶狠的、皱着眉头的武士的面貌。

这是一个可爱的理论，非常好，令人难以忘怀，弥母（文化基因）确实通过教条进行自我复制。我甚至发现了一个网站，在那里你可以对这一理论进行投票表决，选项及赞成者的分布如下：这个理论是正确的（1331位投票者中的31%），照片有假（15%），是日本工匠将蟹壳雕刻成那样子的（6%），相似之处仅仅是一个巧合（38%），或甚至螃蟹真的是溺死武士的显灵（惊人的10%）。当然，科学事实不能由公民投票决定，我之所以投票，是因为不投票，就看不到投票结果。我担心自己的投票扫了大家的雅兴。总而言之，我想，相似之处可能就是一个巧合，而不是像一位权威的怀疑者指出的那样，因为蟹背部的脊凸和凹槽下，实际上潜藏着骨肉附着点。即使在赫胥黎与萨根的理论中，迷信的渔民也必然是从注意到某种原始的相似之处（不管多么轻微）而开始这么做的，而骨肉附着点的对称图案，正好提供了这最初的相似点。上述怀疑者的另一项发现，也令我印象极为深刻，那就是：这些螃蟹太小，无论如何也不值得吃。在他看来，所有那般大小的蟹都会被扔回去，不管它们的背部是否像人脸，虽然我不得不说，这种更能说明问题的怀疑论解释之中有一个大圈套。当我在东京受邀外出吃晚餐时，东道主给所有的客人都点了一盘螃蟹。它们比平家蟹要大得多，而且它们有一层厚厚的、结实的、钙化的外壳，

但这并没有阻止英勇的人们捡起整只螃蟹，一只接一只，像咬苹果那样咬开它们，伴着嘎吱嘎吱的声音，我感觉吃螃蟹的人牙龈都被刺出血了。像平家蟹那么小的蟹对这样的美食冠军来说，绝对是小菜一碟。他肯定会整只吞下，眼都不眨一下。

我对赫胥黎与萨根的理论表示怀疑的主要原因，是根据科学证据，人类大脑确实渴望在随机图案中看到人形面孔，首先要提的是大量传闻，说人们目击了耶稣或圣母玛利亚或特蕾莎修女的面孔，出现在烤面包片、比萨饼或墙壁潮湿的斑块上。如果图案违背了随机性，呈现为某种对称，就更增强了这种渴望。而所有蟹都是对称的（除了寄居蟹）。因此，我不愿推测平家蟹与武士脸的相似仅仅是一个巧合，我倒宁愿相信，它是通过自然选择被增强了。

没关系，还有许多其他例子不涉及人类，那些本可作为“盘中餐”的生物被“动物渔夫们”扔了回去（或压根儿就没有看到）——因为这些生物类似于某些不祥之物，而这种相似肯定不是偶然的。如果你是一只鸟，在森林里捕食毛毛虫，突然遇到了蛇，你会怎么做？我猜你会惊吓地飞回来，对它敬而远之。好吧，这里有一条毛毛虫（确切地说，是毛毛虫的尾部）非常像蛇。如果你害怕蛇，这就确实是一个大警报——我羞愧地承认自己怕蛇。我甚至觉得，尽管明知它其实是无害的毛毛虫，我大概也不愿意拿起这种动物（彩页7是这种非同寻常的生物的照片）。我也不太敢用手去碰酷似黄蜂或蜜蜂的食蚜蝇，即使我能清楚地看到它们只是拥有一对翅膀的无刺的苍蝇。可以列一个清单罗列众多因为看上去像别的东西而得到保护的动物，如像鹅卵石那样不可食的东西，像树枝或海藻的叶子，或像一些非常可怕的东西，如蛇、黄蜂或潜在捕食者的瞪视的眼。

此外，鸟的眼睛是不是培育了“看上去难吃或有毒的昆虫”？在某种意义上，我们必然得回答“是”。这究竟与雌孔雀为美丽而培育雄孔雀，或人类培育狗或玫瑰，有什么区别呢？主要区别在于：雌孔

雀为了一些有吸引力的东西，通过接近它而“积极地”育种；而捕食毛毛虫的鸟类则是通过回避它所厌恶的东西而“消极地”育种。好吧，这里有另一个例子，在这种情况下，“育种”是积极的，虽然选择者没有从它的选择中获益。一丁点儿都没有！

深海琵琶鱼端坐海底，耐心等待猎物(注)。以我们的标准看，像许多深海鱼类一样，琵琶鱼极其丑陋。或许以鱼的标准看也是如此（不过这可能根本就无所谓，因为它们住在海底，太黑了以致什么都看不见）。像其他深海居民一样，雌性琵琶鱼常常自己发光——更确切地说，它们有特殊的容器来储存用于发光的细菌。这种“生物发光”不够亮，不能照出任何细微之处，但其亮度足以吸引其他鱼类。正常鱼的某一根刺，只是鱼鳍上众多束刺中的一根，在琵琶鱼身上被延长硬化，用作钓竿。在一些物种中，“竿”是如此的长而灵活，你可以把它叫作一条鱼线，而不是一根竿。那么，在钓竿或鱼线的末端，还有什么呢？一个诱饵。诱饵因种类的不同而异，但它们总是像小食物：也许像一只蠕虫或一条小鱼，或只是像一种极平常，但诱人的、抖动的食物碎屑。实际上，诱饵常常是发光的，是自然界的另一个霓虹灯标志。而且在这种情况下，其闪烁的信息是“来，吃了我”。小鱼确实受到了诱惑，它们紧密地靠近诱饵。这是它们此生做的最后一件事——在那一刻，琵琶鱼张开它的血盆大口，连同大量的水一起，吞没了猎物。

现在，我们能不能说——小饵料鱼（受诱饵吸引而被吃掉的小鱼）在“培育”更有吸引力的诱饵？就像雌孔雀在培育更具吸引力的雄孔雀，园艺师在培育更动人的玫瑰？很难想出为什么不这么说。就玫瑰来说，最吸引人的花朵是园丁刻意选育出的。雌孔雀选育雄孔雀，同样如此。雌孔雀可能没有意识到自己在选择，而玫瑰种植者却意识到了。但在这种情况下，这似乎不是一个很重要的区别。稍微引人注目的，是琵琶鱼和其他两个例子间的区别。小饵料鱼确实是在选育最“有吸引力的”琵琶鱼，通过间接的途径（喂养它们）来选择它

们的生存。诱饵没有吸引力的琵琶鱼更有可能饿死，因此不太可能繁殖。小饵料鱼的确是在做“选择”。但它们是在用自己的生命做选择！在此，我们正在逐渐接近“真正的自然选择”，现在，我们就要到达本章的“逐步诱导”的终点。

这里列出进展情况：

1. 人类刻意选育具有吸引力的玫瑰、向日葵等，从而保持了产生有吸引力之特征的基因。这就是所谓的人工选择，是人类远在达尔文之前，就已经知道的，而且大家都清楚，它足够强大，可以把狼变成吉娃娃，把玉米棒子的长度由英寸延伸到英尺。

2. 雌孔雀选育有吸引力的雄孔雀，从而同样保留了有吸引力的基因（我们不知道它是否是有意识的且故意的，但我们猜不是）。这就是所谓的性选择，达尔文发现了（或至少辨识出了）这种选择，并给它命了名。

3. 小饵料鱼（绝非有意地）决定了有吸引力的琵琶鱼的生存——它们用自己的身体，来喂养最具吸引力的琵琶鱼，因而无意中选育了它们，从而传递（保留）了产生吸引力特征的基因。这就是所谓的——是的，我们终于到达了目的地——自然选择，这是达尔文最伟大的发现。

达尔文以其特殊天赋意识到：自然可以发挥“选择者”的作用。人人都知道人工选择[注]，或至少任何有农耕园林经验、犬展或养鸡经验的人，都知道人工选择。但达尔文第一个发现——不必有一个做仔细推敲的选择者，幸存（或未能幸存）可以自动作出选择。达尔文意识到，生存的意义是重大的，因为只有幸存者才复制和传递基因（达尔文没有用“基因”这个词），这帮助它们继续生存。

我选择琵琶鱼作为例子，因为这仍然可以被作为一个“选择的行动者”的代表——它用自己的眼睛来选择谁能生存。但是，我们已经到达了我们论证的重点——达尔文的观点——在这里我们已不再需要谈论一个“选择的行动者”了。现在，我们就从琵琶鱼转而谈论积极捕猎的鱼，如金枪鱼或大海鲢。我们不能癫狂地宣称或认为“猎物”通过被吃掉，来选择哪条大海鲢能生存。然而，我们可以说，那些捕猎装备更好的大海鲢（不管是因为什么原因——游动敏捷的肌肉、敏锐的眼睛等）将是那些能够存活下来，从而能够复制和传递使之取得成功的基因的大海鲢。它们通过特有的表现（继续生存）而被选择，而另一种大海鲢，不管出于什么原因而致装备落后，将无法存活。因此，我们可以添加一个第四步到我们的列表中。

4. 没有任何选择行动者，只是那些碰巧拥有精良装备来生存（从而被选择）的个体，最有可能繁殖，因而，能传递使后代具有精良装备的基因。因此，每一个物种的每一个基因库，都趋向于充满**制造精良装备以生存和繁殖的基因。**

请注意，自然选择是多么包罗万象。我刚才提到的其他例子，步骤1、2、3和许多其他例子，都可以被包罗进自然选择之中，作为普遍现象中的特例。人们所熟知的一些有限制的现象，经达尔文研究证明（原来）是最普遍的现象。在达尔文之前，人们只知道其中的人工选择这种特例。普遍情况是“随机遗传装备之变异的非随机存活”。“非随机存活”是怎么产生的，这并不重要。它可以是刻意的，由选择者作出明确、有意的选择（如人类选育灰狗品系）；它可以是选择者在没有明确目的时，作出的无意选择（如雌孔雀选育雄孔雀）；它可以是无意的选择，如小饵料鱼选择接近琵琶鱼的诱惑，选择者会宁愿自己没有作出这种选择（但它们已经没有机会后悔，事后诸葛亮是我们这些人类观察者）；或者它可以是种根本不被我们看成是“选择”的事物，例如大海鲢的生存所凭借的深深隐藏在其肌肉内的一个

不起眼的生化优势，给了它一个追逐猎物时额外的爆发速度。达尔文本人在《物种源始》最令人喜欢的一段话中，出色地描述了这一主题：

> 可以说自然选择每日每时都在世界范围内检查每一种变异，甚至最细微的变异。它剔除坏的变异，保存和积累好的变异。不论何时何地，只要有机会能改善每一只生物和它的（有机和无机）生存条件的关系，自然选择就默默地、不知不觉地工作。我们看不到这些缓慢的变化在进行，直到时间之手雕刻了沧桑岁月；而我们对逝去的悠久地质年代的理解是这样有限，以至于我们只看到——现在的生命形态和它们以前的形态不同了！

我在这里引述了达尔文著作的第一版，因为这是我的惯例。在后来的版本中有一处有趣的修改："可以隐喻地说，自然选择每日每时……"你可能会认为"可以说……"已足够谨慎了。但在1866年，达尔文收到一封来自华莱士（自然选择的共同发现者）的信，信中建议，很遗憾，必须采取一个更高端的、避免误会的措施。

> 亲爱的达尔文，我一直不断地受到这种现象的打击——许多人很聪明却十分无能，完全无法清楚地看到自然选择的自动性和必然的效应，以至于我断定：自然选择这个术语本身和您解释它的方式，虽然对我们许多人来说清晰和优美，但并不是最适合用来打动一般的博物学大众。

华莱士继续引用法国作家詹尼特（Janet）的作品，他明显是一个极其混乱的人，不像华莱士和达尔文：

> 我听说，他认为您的弱点是，您没有看到"思想和方向对自然选择作用是必不可少的"。同样的异议已经被您的主要对手提

> 过很多次了，而且我自己在谈话中也经常这样陈述。现在，我认为这种情况几乎完全是由您选择了“自然选择”这个术语产生的，因此在它的影响下，不断地把它的作用和人工选择相比，同时您还如此频繁地将自然拟人化地描述为“选择”、“喜欢”等等。对少数人来说，这如朗朗白日一样清晰，是一个很好的提示，但对多数人来说，这显然是一个理解障碍。因此，我希望我能建议您，在您的巨著中完全避免产生这种误解的可能性，而且我认为，在《物种源始》的未来版本中，采用斯宾塞（Spencer）的术语“适者生存”（Survival of the Fittest），做起来可能并不困难，而且非常有效……这个词是对事实的朴素表达；“自然选择”则是一个隐喻……

华莱士言之有理。不幸的是，斯宾塞的术语“适者生存”本身也有问题，这是华莱士没有预见到的，而我在此也不拟深究。尽管华莱士给出了警告，但我更愿意遵循达尔文自己的策略——通过驯养和人工选择来介绍自然选择。我并不否认，詹尼特先生的这一意见可能很有说服力。但我也确实有另一个遵循达尔文引导的理由，而且是一个很好的理由——最终检验科学假说的是实验。实验具体是指，你不是仅仅等待自然做一些事，然后被动地去观察，找出相关性。你应该深入进去，并“做”一些事情。由你来“操纵”。你以一种系统化的方式去改变一些事情，并与一个缺乏变化的“对照组”[注]比较其结果，或者你与不同的变化作比较。

“实验干扰”极为重要，因为没有干扰，你永远不能肯定，你观察到的“相关性”有任何因果性意义。这可以由所谓的“教堂钟谬论”来解释。两个相邻的教堂塔楼上的钟表每小时鸣奏一次，但A塔的时间稍早于B塔。一位火星访客注意到这一点，他可能会推断，A塔的钟声导致了B塔的附和。当然，我们更清楚实情，但对实验假设唯一真正的考验，是实验式地让A塔的钟声在随机时间里鸣奏，而不是每小时响一次。火星人的预测是，B塔的时钟仍将在A塔钟声鸣奏后立即附和

（很显然在实际情况下，这种预测会被驳倒）。只有实验操作可以验证，一个观察到的相关性是否真的反映了因果关系。

如果你假设“随机遗传变异的非随机存活”具有重要的进化后果，那么对该假说的实验性验证就必须施加一种蓄意的人为干预。介入并“操纵”哪个变异体可以存活，哪个不能。介入进去，像人类培育者那样“选择”哪种个体可以繁殖。当然，这也是人工选择。人工选择不仅仅是自然选择的“类比”。人工选择构成了一个真正的实验性验证（与观察性验证相对立），是对“选择导致了进化性改变”假说的验证。

大多数已知的人工选择的例子（如培育不同品种的狗）是根据历史上的“后见之明”观察到的，而不是在受控的实验条件下，对预测的刻意验证。但人们已经做了“适当的实验”，而且结果总是不出所料，与从狗、白菜和向日葵的更多逸事中得出的结果相同。这里有一个典型例子，一个极好的例子，因为伊利诺伊实验站（Illinois Experimental Station）的农学家们，在很久之前（1896年）就开始了这个实验（图7中第1代）。图7显示了在两种不同人工选择方法下玉米种子的含油量，一种选择高含油量，而另一种选择低含油量。这是一个真实的实验，因为我们正在比较这两个刻意操控或干预的实验的结果。显然，差异是引人注目的，而且差异增加了。看起来似乎有可能的是：无论是上升趋势还是下降趋势，最终都会趋于稳定——低含量的趋势线趋于稳定是因为，你不能让含油量低于零，而高含量的趋势线稳定下来的原因，也几乎同样明显。

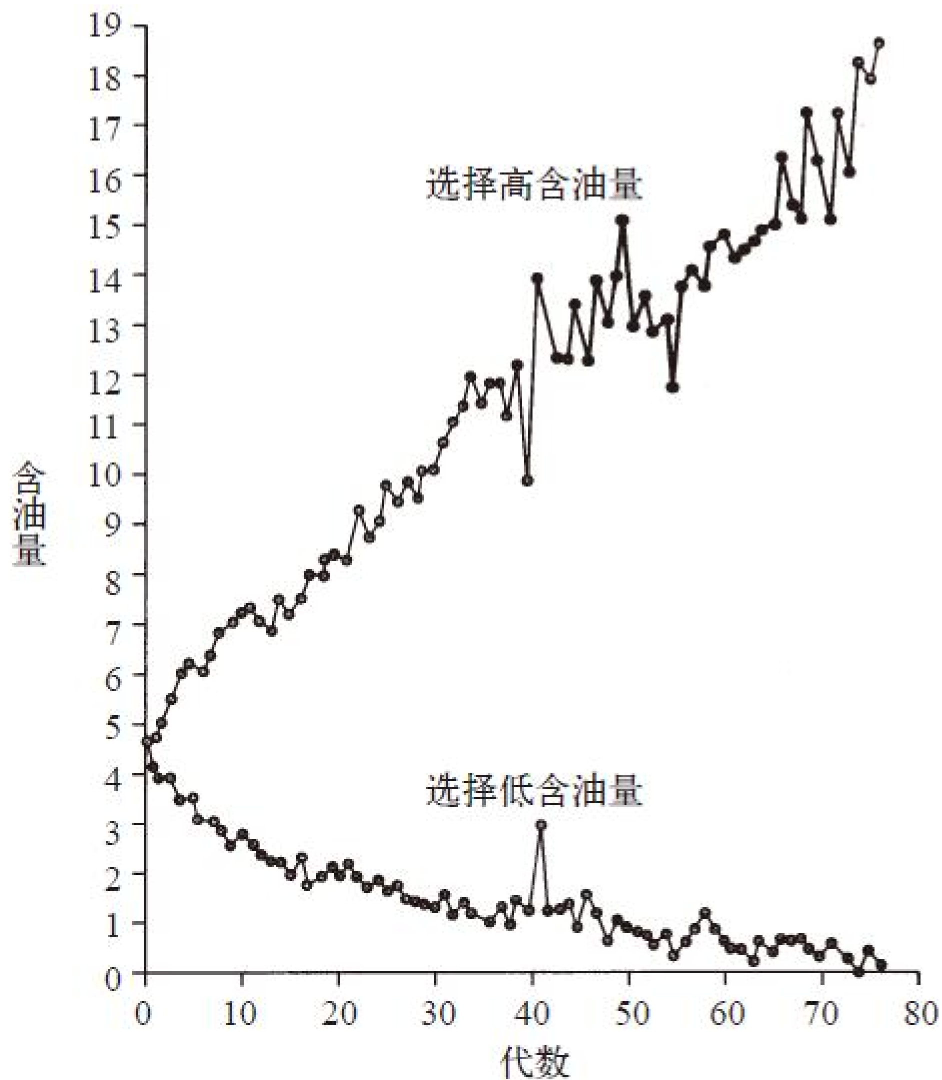


图7 玉米含油量的两条高、低选择曲线

这里有一个对人工选择力量的进一步实验演示，它具有另一种方式的启发性。图8展示了一些第17代的老鼠，它们是经人工选择的能抗龋齿的老鼠。图中所刻画展现的，是老鼠保持无龋齿状态的天数。在实验开始时，典型的无龋齿期为100天左右。在系统地选择抗龋齿老鼠大约仅十几代后，无龋齿的时间变成了几乎是原来的4倍，甚至更长。在这里，也同样设了一个独立的队列，对它进行选择，朝着反方向进化：在本实验中，实验系统化地去培育老鼠对患龋齿的易感性。

这个例子为我们提供了深入思考自然选择的机会。事实上，这个对老鼠牙齿的讨论，将是我们现在准备着手做的“三个深入探究自然选择本身的例子”中的第一个。在与老鼠的例子一样的另两个例子中，我们将重探这些沿着“报春花之路式的驯化路线”会遇到的生物，也就是狗和花。

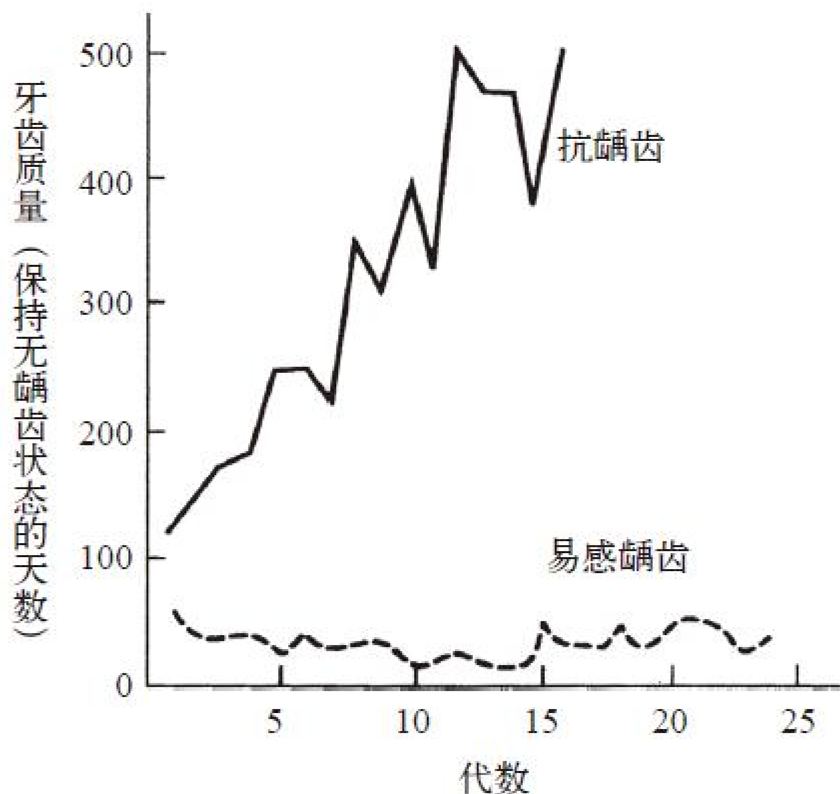


图8 老鼠抗龋齿的两条强、弱选择曲线

---

1. 普林尼（Pliny）的《自然史》（*Natural History*）中提到的，这些岛屿又是根据“众多体形巨大的狗”命名的。

2. 例如，牧羊犬放牧的方式就来源于狼偷偷接近兽群并杀死位于队伍末尾的猎物。

3. 这并不影响我想说的观点，但这种说法只适用于雌性琵琶鱼。雄性通常很瘦小，寄生在雌性的身体上，像一块额外的鳍。

4. 关于希特勒受达尔文启发的传言部分来自这样一个事实：希特勒和达尔文都对几百年来人们所熟知的某些事情印象深刻——你可以定向培养动物使之具有某种你所希望的素质。希特勒希望将这个常识用到人类身上，达尔文则不然。他的灵感将他带入一个更有趣和更原创性的方向。达尔文的伟大见解是：你根本不需要育种家，自然（生存或繁殖成功的原始动力）能发挥育种家的作用。至于希特勒的“社会达尔文主义”（他对人

种斗争的信仰）实际上是非常偏离达尔文主义的。对于达尔文来说，生存斗争其实是一个物种内部的个体之间的斗争，而不是物种之间、种族之间或者其他群体之间的斗争。不要被达尔文的巨著所采用的不恰当的和不幸的副标题“在生存斗争中受惠种群的保存”所误导。从文字本身可以明显看出，达尔文定义的“种群”并不是意味着“被共祖或血统相联系的一群人、动物或植物”（《牛津英语词典》的定义6.I）。相反，他定义的更像《牛津英语词典》的定义6.II：“一群或一组拥有相同特性或面貌特征的人、动物或植物。”根据定义6.II我们可以举出这样的例子：“所有拥有蓝色眼睛的个体（不管他们属于哪个地理种族）。”用现代遗传学的术语来说，这并不适用于达尔文学说，我们可以将出现在他的副标题里的“种群”在一定意义上定义为“所有拥有一定的等位基因的生物”。很不幸的是，将达尔文的生存斗争误解为种群之间的斗争（所谓的“群选择”谬误）的不只是希特勒式的种族主义。对达尔文主义的业余误读不断出现，甚至出现在一些专业生物学家身上，他们本该有更好的理解的。

5. 实验通常分为实验组和对照组，前者指接受实验变量处理的对象；后者指不接受实验变量处理的对象，也称控制组。——编者注

老鼠的牙齿

如果通过人工选择来改善老鼠的牙齿是这么容易的话，为什么当初自然选择明显地做得那么差劲？生龋齿当然没有什么好处。如果人工选择能够减少龋齿的话，自然选择为什么在很久以来却没有做到呢？我能想到两个有启发性的答案。

第一个答案是，被人类选择者当作“实验原料”的原始种群，不是野生老鼠，而是驯化过的实验室白鼠。可以说，实验鼠像现代人类一样娇生惯养，避开了自然选择的锐利刀锋。龋齿的遗传倾向将明显有损老鼠野外繁殖的前景，但可能对生活舒适的实验室老鼠群体并无影响，而且“谁能繁殖、谁不能”的决定权在人类手中，并不在于（适者）生存。这是问题的第一个答案。

第二个答案更有趣，因为它揭示了自然选择和人工选择中的一条重要法则，即物物交换的法则，我们已经在讨论植物授粉策略时提到过它——没有免费的午餐，每件东西都有代价。似乎很明显，应该不惜一切代价避免龋齿，而且我并不怀疑，龋齿明显缩短了老鼠的寿命。但是让我们思考一下，为了提高动物的抗龋齿性，将可能发生些什么。我不清楚细节，但我深信，这样做的代价将很昂贵——我需要假定的，就是这一点。让我们假设一下，提高抗龋齿性要靠牙齿壁的增厚，而这需要额外的钙。并不是不可能找到额外的钙，但它必须来自某处，而且并不是免费的。钙（或任何可能是限制性资源的东西）不能凭空而来。它必须通过食物进入体内。而且除了牙齿，它对身体其他方面也有潜在用处。身体有一种我们可以称之为“钙经济”的体系。骨骼中需要钙，奶中也需要钙。（我假定我们正在谈论的是钙。即使不是钙，那么也必然有一些昂贵的限制性资源，而不管是什么样

的限制性资源，这个讨论同样适用。为了讨论的方便，我将继续用钙。）当其他因素都一样时，拥有好牙的老鼠，其长寿的可能性高于拥有烂牙的老鼠。但其他因素往往是不同的，因为构成好牙的钙来自身体的其他部分，比如说骨骼。一只竞争对手老鼠，其基因没有驱使它从骨骼中吸收钙，因此它会有更好的骨骼，就可能更长寿（虽然它的牙不好）。或者，竞争对手老鼠可能因为母乳中含有更丰富的钙，能更好地养育后代。正如经济学家们都喜欢引用科幻作家罗伯特·海因莱因（Robert Heinlein）所说的“天下没有免费的午餐”。我的老鼠例子是假设的，但可以肯定地说，出于“经济原因”，老鼠的牙齿不能好得超过一定程度。因为某一部分的完美，必然要以牺牲另一部分的方式而获得。

这个准则适用于所有生物。我们可以期待身体的机能优良，以利于生存，但这并不意味着身体的每个部分都要完美。如果羚羊的腿更长一点，它可能会跑得更快，更有可能逃脱豹的捕食。但有竞争优势的长腿羚羊，尽管可能可以更好地躲避捕食者，但必须在其“身体经济”的其他部分为长腿付出代价：更长的腿的额外骨骼和肌肉所需的材料，必然要从别的器官挪用，因此长腿的羚羊可能更易死于被捕食以外的原因。或者因为其更长的腿，它甚至更有可能死于被捕食——尽管它没有受伤时跑得更快，但也更有可能骨折，这时就无法逃跑了。身体是由许多“妥协”构成的。我会在第十二章“军备竞赛和‘进化的神义论’”中回到这个论题。

家养之下会发生的情况是，很多威胁野生动物之生命的危险，被人为地避免了。纯种奶牛可以产大量牛奶，但其下垂的笨重乳房会严重阻碍它逃脱狮子的追捕。纯种马是高超的奔跑者与跳跃者，但它们的腿在比赛中（尤其是在跳跃时）容易受伤，这表明，人工选择已把它们推入了一个自然选择不能容忍的地步。此外，纯种马的茁壮成长，需要依靠人类提供丰富的饮食。以英国本土小马为例，虽然有茂盛的牧草可吃，赛马却需要喂谷物和补充剂这些营养更丰富的食物，

才能长得好——这些食物它们在野外找不到。再次，我将在“军备竞赛”一章中回到这方面的话题。

再次说狗

在终于到达自然选择的主题后，因为其他一些重要法则，我们可以回到狗的例子上。我说它们是被驯养的狼，但我需要根据一个精彩的理论——狗的进化来证明它：最清楚地阐述这一理论的依然是雷蒙德·科平杰。这一理论认为，狗的进化不只是一个人工选择的问题。这至少是一个狼通过自然选择适应人类之道的例子。狗的最初驯化多是自我驯化，是由自然选择（而非人工选择）进行协调的。很久以前，在我们的双手从“人工选择工具箱”中拿起“刻刀”之前，自然选择就已经把狼雕刻成了自我驯化的“村狗”（village dogs），没有任何人工干预。只是到后来，人类收养了这些村狗，才把它们分别、全面地塑造成了如彩虹色谱般的各个品种，这点缀（如果可以说点缀的话）了今天的克鲁夫茨（Crufts）犬展及类似活动的成就和美丽（如果可以用“美丽”这个词来描述）。

科平杰指出，当家畜冲破樊篱，回归野性许多代后，它们通常会恢复到接近它们野生祖先（的状态）。因此，我们可能期待野狗会变成相当于狼的模样。然而，狗并不会发生这种情况。相反，回归野性的狗似乎变成了无处不在的“村狗”——“流浪狗”——它们在整个第三世界的人类居住区游荡着。这促使科平杰笃信：人类育种家最终培育的狗已不再是狼。它们已经把自己变成了狗：村狗、流浪狗，或许是澳洲野狗。

真正的狼，是群集型的捕猎手。而村狗，则往往是垃圾箱和垃圾堆的清洁工。狼也在垃圾中捡食，但由于它们过长的“安全距离”（flight distance），它们在性情上并不适合以人类垃圾为食。对于正在进食的动物，你可以通过观察它（在逃离前）让你接近的程度，

来测量它的“安全距离”。任何给定情况下的任何给定物种，都有一个最佳的安全距离——介于太冒险或鲁莽的最近距离，和太浮躁或不愿承担风险的最远距离之间。当危险降临时，逃离得太晚的个体，更容易被杀死。不过，虽说我们未必会想到，但也有逃离得太早这种事情——太浮躁的个体从来没有享受到一次饱餐，因为在视线里出现危险的第一个征兆时它们就逃离了。我们很容易忽视“过度避险”的危险。当我们看到斑马或羚羊从容地在狮子的瞪视下吃草，对猛兽们没有保持格外警惕时，我们会感到困惑。我们之所以感到困惑，是因为我们自己对风险的规避（或我们的狩猎向导对风险的规避）让我们坚定地待在路虎车里，尽管我们没有理由认为，在数英里范围内会有狮子。这是因为，没有什么会让我们铤而走险、险中夺食——我们将回到游猎木屋，去享受美餐。我们的野生祖先才可能对冒险的斑马怀有更多的同情。祖先们像斑马一样，也必须权衡“被吃掉的风险”和“不吃食的风险”。狮子当然可能会发起攻击；但是，这取决于你的群集的规模，很可能的是，它将捕获群集的另一个成员，而不是你。而如果你从来没有去冒险觅食，或到水坑里喝水，无论如何你都会饿死或渴死。这是和经济交换同样的法则，我们已经遇到了两次。[注]

这段题外话的大意是，像任何其他动物一样，野狼也有一个最佳安全距离，蓄势待发，又有潜在灵活性——介于太鲁莽和太轻率之间。自然选择将作用于“安全距离”，随着进化时间令环境改变，而让这种安全距离在一个连续统[注]中向一端发生推移，或向另一端发生推移。如果一个丰富的新食物源以“村落垃圾堆”的形式进入狼的世界，那么这将改变最佳位点，移向“安全距离连续统”的较短的一端——也就是移向在享受这种新馈赠时，不愿逃跑的方向。

我们可以想象，野狼在村边的垃圾堆中觅食。其中的大多数，害怕人类投掷石块和长矛，因而保持一个很长的安全距离。只要有一个人类出现在安全距离内，它们就全速冲进森林里的安全地带。但是，也有少数个体，由于遗传基因的偶然性，碰巧有一个稍短于平均值的

安全距离。它们愿意承担轻微的风险，这让它们获得了比更厌恶风险的竞争对手更多的食物；我们应当说，它们是勇敢的，但并不鲁莽。随着一代一代的发展，自然选择偏袒越来越短的安全距离，直到到达狼真正受人类扔石块的威胁的那个点上。——因为新的可用的食物来源，最佳的安全距离已经变动。

从科平杰的观点看，类似“安全距离缩短”的这类进化，是狗驯化的第一步；这一步的实现，靠的是自然选择，而不是人工选择。缩短安全距离，是一种可被称为“驯服性增加”的行为措施。在这个过程中的这个阶段，人类没有刻意选择最温顺的个体来培育。在这个早期阶段，人类和这些早期的狗之间仅有的相互作用是敌对的。如果狼被驯化了，它也是自我驯化，而不是被人类刻意驯化的。“刻意驯化”是后来发生的。

通过观察一项现代“驯化俄罗斯的银狐用于皮毛交易”的精彩实验，我们可以想到驯服性（或任何其他品性）是如何被“自然或人为地”雕刻的。这是加倍有趣的事，因为这个法则教给我们的，比达尔文所知道的还多——涉及驯化的过程、选育的“附带后果”，以及达尔文所深刻理解的人工选择和自然选择之间的相似性。

银狐只是一种常见的红狐狸——赤狐（*Vulpes vulpes*）的颜色变异种，因其美丽皮毛而珍贵。俄罗斯遗传学家迪米特里·别里亚耶夫（Dimitri Belyaev）受命在20世纪50年代经营一个狐皮农场。后来他因为自己的科学遗传学与李森科（Lysenko）的反科学思想相冲突而被解雇；生物学骗子李森科成功地获得了斯大林的信任，因此由他接管了（从而在很大程度上破坏了）苏联所有的遗传学和农业，时间长达20多年。别里亚耶夫保留了自己对狐狸的爱，并坚持真正的“非李森科遗传学”，后来，他作为西伯利亚遗传学研究所所长，得以恢复了对这两者的研究。

野生狐狸处理起来很棘手，别里亚耶夫开始刻意去培育温顺的狐狸。像他那个年代的任何动植物培育者一样，他的方法是利用自然变异（当时尚无基因工程）选择那些他一直在寻找的、最接近完美的雄性和雌性狐狸来繁衍。在选择温顺性的时候，别里亚耶夫可以选择培育那些最吸引他的雄狐和雌狐，或那些带着最可爱的面部表情看他的狐狸——这些表明了其未来世代可能会有我们想要的驯服性。然而，比这个方法更系统的，是他运用了非常接近“安全距离”的方法——我刚刚在讲述与野狼相关的内容时提到过，但只适用于幼崽。别里亚耶夫及其同事（和接班人，因为该实验项目在他去世后还在继续）让狐狸幼崽接受标准化的测试，实验中，实验员用手喂食幼崽，并尝试着轻抚或触摸它。幼崽被分为三类。Ⅲ类幼崽是那些逃离人类或会咬人的幼崽。Ⅱ类幼崽会允许自己被触摸，但对实验员没有表现出积极反应。Ⅰ类幼崽，是所有幼崽中最温顺的，它们积极地靠近实验员，摇摆着自己的尾巴，并发出呜呜的叫声。当幼崽们长大，实验员只系统性地繁衍最温顺的这一类狐狸。

在选育温顺狐狸仅仅6代后，狐狸就已经发生了很大的改变，以至实验员们感到必须命名一个新类别——“驯养精英类”（domesticated elite），它们“渴望与人类建立接触，呜咽着吸引人的注意，并像狗一样地嗅和舔实验员”。实验开始时，没有狐狸是在“精英”范畴中的。在培育温顺的狐狸10代后，“精英”占到18％；20代后，“精英”占到35％；在30~35代后，“驯养精英”的比例已占实验总体的70％~80％。

这样的结果也许并不太令人吃惊，唯其效应的程度和速度实在惊人。35代在地质史上是不值一提的。然而，更有意思的是选育温顺狐狸时，意想不到的附带后果。这些是真正吸引人的，也是真正出人意料的。爱狗之人达尔文，一定会对此着迷。驯服的狐狸不仅行为像家犬，而且看起来也像家犬。它们失去了赤褐色的毛皮，像威尔士牧羊犬一样长出了黑白花斑。它们曾狡猾地竖起的耳朵，被狗耳朵一样的

松软耳朵所代替。它们的尾巴像狗尾巴一样末端翘起，而不是像狐狸尾巴那样垂下来。雌性狐狸像母狗一样每半年出现一次发情期，而不是像普通雌狐一样每年才出现一次。据别里亚耶夫所说，甚至它们的叫声听上去也像狗（图9）。

这些狗一样的特征，就是附带后果。别里亚耶夫及其团队只培养温顺性，并没有刻意去培育这些附带后果。那些像狗一样的特点，似乎是温顺基因进化中附带的。对遗传学家来说，这并不奇怪。他们认识到一种被称为“基因多效性”（pleiotropy）的普遍现象，其中基因不止有一个作用，并且诸作用之间看似没有关联。强调的重点在“看似”这个词上。胚胎发育是一项复杂的“业务”。随着我们了解到更多的细节，“看似没有关联”变成了“是由一条我们之前不明白，现在才知道的途径相联”。在狐狸和狗中，松软耳朵和花斑毛皮的基因，大概是与温顺的多效基因相联系的。这反映了关于进化的一个普遍而重要的论点。当你注意到一只动物的特征，并问其达尔文式的生存价值何在，你也许就问错了问题。你挑出的特征，有可能并不是问题的关键所在，它也许就是“来搭车凑热闹的”——是进化过程中一些其他特征的多效联系附带产生的。

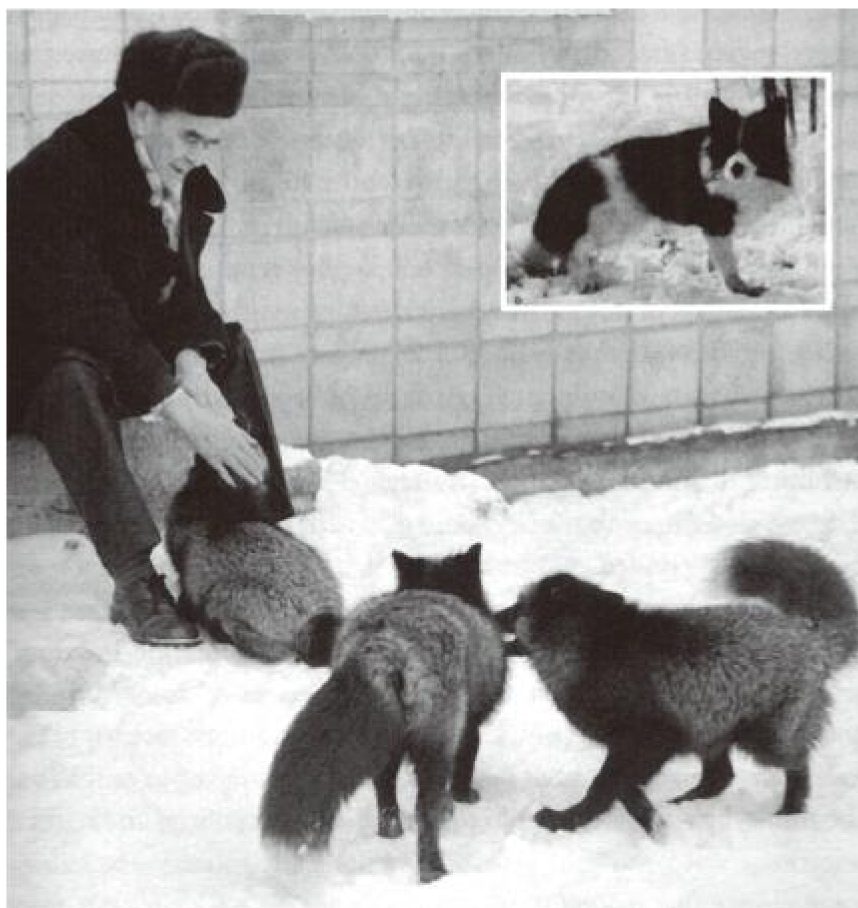


图9 别里亚耶夫和他的狐狸，狐狸已经变温顺了，像狗一样

此外，如果科平杰是对的，那么狗的进化就不仅仅是一个人工选择的问题，而是一个自然选择（在驯养的早期阶段占主导地位）和人工选择（最近才出现）的复杂混合。这个转变应该是无缝过渡的，这再次强调了人工选择和自然选择之间的相似性——正如达尔文所认识到的那样。

---

1. 心理学家曾对人做过类似的承担风险的测试，发现了有趣的差异。企业家通常在承担风险方面得分很高，同飞行员、攀岩者、摩托车车手和其他极限运动爱好者一样。女性往往比男性更讨厌风险。女权主义者在这里将会指出因果箭头可能指向另一个方向：因为社会赋予她们的那些职业，女性将更加讨厌风险。

2. 连续统（continuum），一个数学概念，这里可以理解为一个量的变化范围。——编者注

再说花朵

现在，在对自然选择的第三次热身性进攻中，让我们转向花和授粉者，并看一看自然选择驱动进化的力量。传粉生物学让我们知道了一些令人非常惊异的事实，其登峰造极者，莫过于兰花。难怪达尔文如此热衷于兰花，写下了我们已经提过的那本《兰花借助于昆虫传粉的种种技巧》（*The Various Contrivances by Which Orchids Are Fertilised by Insects*）。有些兰花会供给花蜜，如我们之前提到的马达加斯加的“神奇子弹”，但另一些兰花已经找到了一种方法，通过诱骗授粉者来规避喂养授粉者的成本。有的兰花花朵看上去非常像雌性蜜蜂（或黄蜂，或苍蝇），会诱骗雄虫试图与它们交配。这种拟态表现为某一特定种类昆虫的雌性，而这些物种的雄虫就像“神奇子弹”，从一朵兰花飞到同一物种的另一朵兰花上。即使兰花只是长得像“任何平常蜜蜂”，而不是某一特定物种的蜜蜂，被它迷惑的蜜蜂仍然会是“相当神奇的子弹”。如果我们近距离观察一朵蝇兰或蜂兰，我们可以看出它们不是真正的昆虫；但如果我们只是通过眼角的随意一瞥，大概就会被蒙骗过去。而且即使是正面去观察，我也会说照片（h）上的蜂兰更清晰地像是黄蜂兰而不是蜜蜂兰。昆虫有复眼，但不像我们的摄像眼那么灵敏；而伪装成昆虫形状和颜色的兰花，也伪装了雌虫的诱人气味，其增强的效果更能欺骗雄虫。顺便说一下，从（我们看不见的）紫外线区来看，这种伪装极有可能更有效。

所谓的蜘蛛兰［*Brassia*，见彩页5（k）］通过另一种骗术来完成授粉。各品种的独栖雌性黄蜂[注]捕捉蜘蛛，把蜘蛛蜇刺麻醉，然后把自己的卵产在蜘蛛体内，供其幼虫取食。而蜘蛛兰外形类似蜘蛛，足以迷惑雌性黄蜂试图去蜇它们。在这个过程中，黄蜂带走了花粉块

——由兰花生产的大量花粉粒。当它们继续试图去螯另一朵蜘蛛兰时，就传递了花粉块。顺便提一下，我忍不住要增添一个完全相反的例子——伪装成兰花的蜘蛛（*Epicadus heterogaster*）。昆虫为了寻找花蜜而靠近这朵“花”，却被它迅速地吃掉了。

有些实施这种诱惑伎俩的最惊人的兰花，见于澳大利亚西部。许多杜拉克属（*Drakaea*）的兰花被称为铁锤兰，其每个种类都与黄蜂种类的一个特定类型——膨腹土蜂，有特殊关系。花的一部分大致类似一只雌蜂，欺骗膨腹土蜂雄虫试图与之交配。到目前为止，我描述的杜拉克属兰花与其他伪装成昆虫的兰花并无显著的区别。然而，杜拉克属兰花有一个值得注意的额外伎俩——冒牌“黄蜂”的末端附有一个铰接的“臂”，上面有一个可弯曲的“肘”。你可以在照片［彩页5（g）］上清楚地看到这一铰接。黄蜂紧咬假黄蜂时颤动的运动，导致了“肘”的弯曲，而黄蜂来回反复地撞击，就像一把锤子撞击着花的另一边（姑且称之为砧部）——这里生有花的性器官。花粉块脱落下来，粘在黄蜂身上，黄蜂最终解脱出来，飞走了——但并没有吃一堑长一智：它对另一朵铁锤兰，继续重复相同的动作，这样它和它携带的花粉块就会适时地撞击另一朵铁锤兰的砧部，以致它携带的“货物”在花的雌性器官上找到了注定的归属。在皇家学会为孩子举办的一场圣诞节讲座中，我通过电影展现了这种惊人的举动——可见于“紫外花园”（The Ultraviolet Garden）的演讲录像中。

在同一场讲座中，我探讨了南美洲的“吊桶兰”，它通过一种同样显著，但相当不同的方式完成授粉。它们也有专门的授粉者，不是黄蜂，而是小蜜蜂（这一种类叫作长舌花蜂）。又一次地，这些兰花不供给花蜜。但是这种兰花也没有迷惑蜜蜂与它们交配。相反，它们为雄性蜜蜂提供了一条重要的援助，没有它，雄性蜜蜂就无法吸引真正的雌性。

这些只生活在南美洲的小蜜蜂，有一种奇怪的习惯。它们煞费苦心地收集各种香的或臭的物质，并把它们存放在其增大的后腿上附着的特殊容器中。在不同的物种中，这些有气味的东西可以来自花、来自枯木，甚至来自粪便。似乎它们就是用收集来的香料吸引雌性，或向雌性求爱。很多昆虫利用特定的气味来吸引异性，而且它们中的大多数在特殊的腺体中制造香味。例如，雌性蚕蛾通过释放一种独特香味，吸引过来距离非常远的雄性，这种香味是由雌性制造，雄性通过触角在几英里之外就察觉到这种蛛丝马迹。在长舌花蜂的例子中，是雄性在利用香味。而且，它们不像雌蛾那样，自己合成香味，而是利用它们收集到的气味原料，不是胡乱收集，而是精心炮制的混合物——像专业香料工匠那样把它们放在一起。每种长舌花蜂都会混合出从各种渠道收集来的香料的独特混合物。而某些种类的长舌花蜂，为了制造其特有的香味，单单只需要由兰科特定的吊桶兰（*Coryanthes*）属的兰花提供的物质。因此长舌花蜂也常常被称为“兰蜂”。

这是一幅多么复杂的相互依存的图画啊！兰花需要长舌花蜂，是因为植物普遍需要“神奇子弹”。而蜜蜂需要兰花的原因则相当离奇——如果没有某种（特定的）物质，它们就无法吸引雌性蜜蜂，而唯有通过吊桶兰的中间接洽，才能找到这种物质（或除此之外非常难找到）。但是，实现授粉的方式甚至更离奇，而且从表面上看，它让蜜蜂看起来更像一位受害者，而不是一位合作伙伴。

雄性长舌花蜂，会被兰花中某种物质的气味所吸引，它需要这种物质来制造它的性香味。它飞落在“桶”的边缘，开始刮蜡状香料，放进它腿部的特殊气味口袋。但是“桶”的边缘很滑脚——为什么很滑是有原因的。蜜蜂掉进充满液体的“桶”里，只能在其中游泳。它无法爬上“桶”的光滑桶壁。目前仅有一条逃生路线，就是在“桶”边有一个蜜蜂大小的孔（在彩页4的图片上看不出来）。它在通向孔的“垫脚石”的引导下，开始爬行穿过。这是一个很紧的契入口，且因

为其窄口的收缩诱捕而变得更紧（你可以在图片上看到这些，窄口看起来像车床或电钻的卡盘）。当蜜蜂被它们紧紧抓住时，两个花粉块粘在了它的背部。胶黏物需要一段时间凝固，随后狭窄入口再次放松，释放了蜜蜂，蜜蜂飞走了，而花粉块完全粘在了它的背上。仍然为了寻找它珍贵的香料成分，蜜蜂落在另一朵吊桶兰上，同样的过程重演一次。然而，这一次，当蜜蜂挣扎着穿过“桶”的孔时，花粉块被刮了下来，这样它们就让第二朵兰花的柱头受精。

花朵与其传粉者之间的亲密关系，是一个被称为协同进化（共同进化）的可爱例子。“协同进化”常常发生在那些可以从对方那里“有所收获”的生物体之间，这种伙伴关系是每一方都为另一方贡献一些东西，双方可以从合作中得到收获。另一个完美的例子，是生长在珊瑚礁周围的“清洁工鱼”和更大的鱼之间的关系集合，这种例子独立地存在于世界的许多不同地方。“清洁工鱼”属于几个不同的物种，有些甚至不是鱼，而是虾（趋同进化的一个范例）。在珊瑚礁鱼类中，“做清洁”是一种行之有效的生存方式，就像狩猎或放牧，或食蚁兽一样。“清洁工鱼”通过食用它们的“大客户”身体上的寄生虫来生活。在一片珊瑚礁实验区，如果赶走“清洁工鱼”，将导致很多种鱼的健康下降，这已经很好地证明了“客户”是受益的。我已经在其他地方讨论过这种清洁习惯，所以在此不再多说。

“协同进化”也发生在未从对方的存在中受益的物种之间，如捕食者和猎物之间，或寄生物和宿主之间。这种协同进化有时被称为“军备竞赛”，我推迟到第十二章来讨论。

---

1. “独栖”是因为它们不像常见的秋天害虫那样在大巢穴中过社会性生活；后者被美国人称为小黄蜂。

大自然作为选择者

让我对这一章和前一章，作一个结论。选择（以人类培育者进行人工选择的形式）可以在几百年里，把野狗变成哈巴狗，或者把甘蓝变成花椰菜。观察任何两个品种的狗之间的差异，我们就能大致了解“在少于千年的时间里进化性变化可以实现的程度”。接下来我们应该问的问题是：我们有多少个可用的千年，来解释整个生命史？如果我们仅仅设想把野狗和哈巴狗区分开的差异程度——这个进化（过程）只用了几百年，那么把我们从进化的开端区分开，或者说，从哺乳动物的开端区分开（或从鱼登陆的时间开始）需要多长时间？答案是，生命不是从几百年前开始的，而是从几千万个世纪之前开始的。据测量，我们行星的年龄大约是46亿年，或大约4600万个世纪。今天所有哺乳动物之共祖行走在地球上的时间，大约是200万个世纪之前。对我们来说，100年很长。你能想象200万个世纪，首尾相连排列起来吗？我们的鱼类祖先从水中爬向陆地的时间，大约是在350万个世纪前：也就是说，大约是“造成各种狗与其共祖的所有差异（真的非常不同）所需时间”的2万倍那么长。

请在你的心里记住哈巴狗和野狗之间差异程度的大概画面。这里我们不讨论精确的测量：能作如下的考虑，就已经很好——只需考虑任何一个品种的狗和任何其他种狗之间的差别，因为这种差别代表着“通过人工选择，从共祖那里发生的偏离变化的两倍”。记住这个进化式变化的程度，然后向后回溯，推断2万倍远的过去。这样就可以相当容易地接受足以把鱼变成人的那种变化。

然而，这一切的前提是，我们知道地球的年龄，以及化石记录中的各种标志点的年龄。这是一本关于证据的书，因此，我不能只主张

这些年龄，而必须要去证明它们。我们究竟是如何才知道任何一块具体岩石的年龄的呢？我们是怎样知道一块化石的年龄的？我们是怎样知道地球的年龄的？同样的，我们是怎样知道宇宙的年龄的？答案是——我们需要时钟，而时钟，正是下一章的主题。

第四章 安静与缓慢的时间

如果说，“历史否认者”怀疑进化事实，是由于对生物学的无知，那么，认为世界开始于1万年之内的那些人，则比无知更加糟糕——他们自欺欺人到了有悖常理的程度。他们不仅仅否认了生物学的事实，还否认了物理、地理、宇宙、考古、历史以及化学等诸多方面的事实。本章将阐明我们是如何知道岩石及其所含化石的年龄的。它展示的证据表明，在地球上活动的生物，其时间尺度不是用数千年来衡量的，而是用数十亿年来计量的。

要记住，进化科学家处在一位大侦探的位置——罪案发生后，大侦探才来到犯罪现场。为了确定事件发生的时间，我们要寻找时变过程（time-dependent processes）留下来的线索——也就是广义上的“钟表”。在调查一件谋杀案时，侦探需要做的第一件事，就是询问一位医生或病理学家，以估计死亡时间。依据这个死亡时间的信息，可以推测出许多东西，而在侦探小说中，病理学家的估计被赋予了近乎神秘的崇敬。“死亡时间”是一个基准性事实，是一个不会错的中心点，围绕这个点，侦探反复考虑多少有几分牵强的推测。当然，这种估计也可能有错；这种错可能是略有偏差，也有可能错得很严重。病理学家使用各种各样的时变过程来估计死亡时间：尸体以特定的速率变冷、死后的特定时间会发生僵直反应等等。对于谋杀案的侦探来说，这些都是可使用的相当“粗略”的“时钟”。进化科学家可使用的“时钟”，则可能更精确。（当然，这是相对于所涉及的时间尺度来说的，并不能准确到最接近的小时数！）如果把这两种情况比作“精确的时钟”，那么地质学家掌握的侏罗纪岩石时钟，在精确性和说服力方面要胜过病理学家掌握的尸体变冷的时间过程。

按照进化的标准，人造时钟运行的时间尺度（时、分、秒）是非常短暂的，人造时钟所依赖的时变过程非常快：钟摆的摆动、游丝的转动、晶体的振荡、蜡烛的燃烧、水槽或沙漏的排空、地球的自转（通过日晷显示）。所有的钟表，都利用了某些以固定且已知的速率发生的过程。钟摆以常速摆动，这个速度由它的长度所决定，而不是由摆动的振幅或吊挂物的质量决定（至少理论上是如此）。落地式大摆钟的工作方式是让钟摆连着司行轮，司行轮一步一步地推动齿轮前进；然后，这种转动变挡，以适当的转速来驱动时针、分针和秒针。使用游丝轮的手表，其工作原理与钟表相似。电子表则利用一个类似于钟摆的电子替代物——电池供应能量使某些晶体产生振荡。相比而言，水钟和蜡烛钟很不准确，但是在“计事钟”（event-counting clocks）发明之前，它们还是很有用的。它们不依赖于对任何事物的计数，不像钟摆钟表或电子表那样，而是仅仅测量某一个量。日晷计时是不准确的(注)。但是，日晷计时所依赖的地球自转，对于我们称为“日历”的这个“慢速钟表”的尺度来说，则是准确的。这是因为，在这种时间尺度上，钟表（即我们的日历）已经不再是一个测量钟（计数不断变化的太阳高度角的日晷），而是一个计数钟了（计数日/夜的循环数）。

在漫长而缓慢的进化时间轴上，自然界存在的计数钟和测量钟，都可供我们使用。但是为了研究进化，我们不需要像日晷或手表那样的“时钟”来告诉我们目前的时间。我们需要的，是一只可以“清零”的码表。我们需要一只曾在过去的某时刻被清零的“进化时钟”，以便于我们计算从这一刻开始所经过的时间段，从而向我们提供某一物体（如一块岩石）的绝对年龄。在熔化的岩浆固化形成火山岩之际，“放射钟”被清零了，可以很方便地用于确定某些火成岩（火山岩）的年代。

幸运的是，自然界有多种可清零的“自然时钟”可供我们利用。这种多样性是一件好事，因为我们可以利用一些时钟来检查“另一些

时钟”的准确性。甚至更为幸运的是，时钟们灵敏地覆盖了范围极其广泛的时间尺度，这正是我们所需要的，因为进化的时间尺度跨越了七八个数量级。有必要说明一下这其中的意义：数量级意味着某种精度。一个数量级的改变就是乘以（或除以）10的变化量，因为我们使用的是十进制[注]，所以，一个数字的数量级就是在小数点前面或者后面的0的个数。例如8个数量级构成了“1亿”。钟表秒针的速度是分针的60倍，是时针的720倍，所以这3个指针覆盖的数量级小于3个。和跨越8个数量级的所有“地质时钟”相比，我们的时钟是微不足道的。短时段的“放射性衰变时钟”也是存在的，甚至可以精确到几分之一秒。但是研究进化的时候，精确到“百年”或者“十年”的时钟，就大约是我们需要的最快的时钟了。在这类自然“时钟”的范围内，快的一端（树木年轮和碳测定年代）用于考古的目的是很实用的，也可用于测定狗或白菜的驯化时间这类事件所涉及的样品。在另一端，我们需要可以测量数亿年，甚至数十亿年的“自然时钟”。谢天谢地，大自然为我们提供了一系列我们所需要的“时钟”。更棒的是，它们的灵敏度范围部分地互相重叠，所以我们可以利用它们进行互相校正。

---

1. 我是一只日晷表/做事模糊不得了/手表做得远远好。——英国作家希莱尔·贝洛克（Hilaire Belloc）

2. 这大概是基于我们拥有十指这一进化中的偶然事件。英国科学家弗雷德·霍伊尔（Fred Hoyle）曾巧妙地推测说，若我们生来有八个手指，我们可能会发明八进制而不是十进制，这样也许我们会早100年发明二进制，进而发明电脑（因为8是2的幂）。

树的年轮

树木年轮这种“时钟”，能够以惊人的准确度追溯一块木头（如都铎王朝古建筑中的一根横梁）的年龄，事实上，它几乎可以精确到年。其计时原理如下：首先，正如大多数人所知，在假定最外圈代表“现在”的情况下，你可以通过数出树干中的圈，算出刚被砍倒的一棵树的年龄。那些圈表明了树在一年的不同季节不同的生长情况——夏天或冬天、旱季或雨季；在高纬度的地方，这种表现更是特别显著，这是因为高纬度地区四季特别分明。幸好，你不必为了测定树龄而真的去砍倒一棵树。我们通过向树心钻孔并取出木芯样品，就可以“管窥”它的年轮，而无需砍倒它。但是，仅仅通过数年轮并不会告诉你，房梁到底存活于哪一个世纪，或维京海盗的长船桅杆的生长年份。如果你真想确定一块已死亡很久的老木头的精确生长日期，你需要更精明一点——不仅要数年轮，还要观察那些宽窄不一的年轮的形状。

这些年轮的存在显示了富足生长或贫乏生长的季节循环，同样，一些年份也会好于另一些年份，因为每一年的天气都不相同：干旱阻碍生长，丰年加速生长；有冷年，有热年，甚至有些年份会发生反常的厄尔尼诺现象或喀拉喀托火山浩劫。就树木来说，丰年生的年轮会宽于荒年生的年轮。在任何一个地区，由丰年和荒年造成了特殊的标志性序列——宽宽窄窄的年轮模式，足以像指纹一样，表征年轮生长的确切年份，可以把树木彼此区别开。

树木年代学家计算近代树木的年轮，每圈年轮的确切时间都可以通过这棵树已知的被砍伐的时间数回去，从这些度量中，他们建立了一个年轮模式的参照系列，你可以用这个参照系列，比对你想知道的

考古学家提供的木头样本的年轮，从而追溯木头样本的时间。所以，你可能会得到这样的报告：这根都铎王朝古建筑的梁木有一系列典型的年轮标记，可以匹配年轮参照系中的某一个系列，我们已知这个参照系列年份大约在公元1541—1547年间，因此，这幢房子应该是建于公元1547年之后。

好倒是好，但是，都铎王朝时期的树木很少有存活至今的，遑论石器时代或更早时代的树木。有些树，如狐尾松（bristlecone pine）和一些巨型红杉，能活几千年；但大部分树在还没有活过百年的时候，就被砍掉用作木材了。那么，我们要怎么做，才能建立一个更古老的树木年轮参照系呢？我猜你已经知道答案了——这就是重叠追溯法。一根牢固的绳子可能长约100码（1码=3英尺），然而其中的单缕纤维还达不到绳子全长的十分之几；为了在树木年代学中使用重叠原则，要使用年代已知的现代树的纹路形状作参照。你从现代树的老年轮中分辨出一个纹路，再从死去较久的树的晚近年轮中寻找出相同的纹路，然后你在这些死去较久的树中寻找纹路，再从甚至更老的树的晚近年轮中寻找相同的纹路，依此类推。理论上，对于上百万年前的石化森林，你可以采用“菊花链（daisychain）方式”追溯回去。而树木年代学更让人诧异的是，至少在理论上，你可以精确到最接近的年份，哪怕是对于1亿年前的石化森林。你可以直接地说出，这块侏罗纪化石树木的这圈年轮，形状恰恰符合比它晚257年的另一棵侏罗纪树木的某一圈年轮，形状是一样的！只要有足够的石化森林，能以“菊花链方式”持续地从现在追溯回去，你就可以不仅说出这棵树存活在晚侏罗世，而且说出它存活的确切时间是公元前151432657年！（图10）不幸的是，我们并没有这样一个完整无缺的链条，实际上，树木年代学只能把我们带回到11500年前。无论如何，这仍是一个令人兴奋的想法——只要我们能发现足够多的石化森林，在数千万年的跨度中，我们确实可以追溯到最接近的年份。

树木的年轮并不是承诺可以完全达到“最接近的年份”这种精度的唯一的系统。“纹泥”（varves）是冰川湖沉淀下来的沉积物层，它们像年轮一样，也会年复一年地随季节而变化，因此，理论上，同样的原理也适用于纹泥，相应地也有同等的精确度。珊瑚礁像树木一样，也有年度生长轮，有趣的是，这些可以用于侦测古代地震的日期。顺便说一下，树木年轮也能告诉我们地震的日期。可以为我们所用的大多数溯年系统（包括在数千万年、数亿年和数十亿年范围使用的所有“放射性时钟”），其精确度的误差范围是大致和相关的时间尺度成比例的。

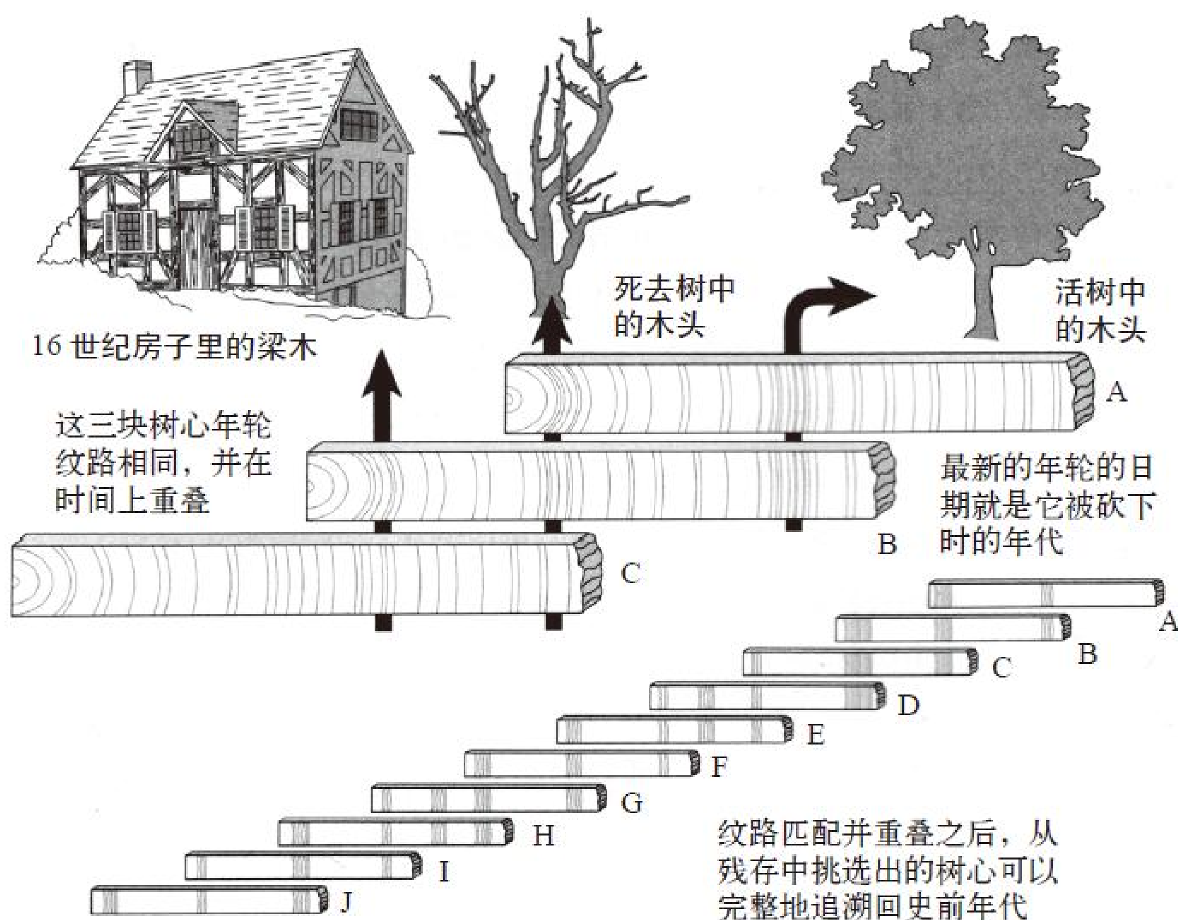


图10 树木年代学的工作原理

放射性时钟

现在，让我们把眼光转到放射性“时钟”上来——有相当多种放射钟可供选择，并且，正如我所说过的一样，它们如神赐一般，幸运地涵盖了从百年到数十亿年的全部范围。每一个都有其特定的误差范围，在1%左右。因此，如果你想追溯一块有数十亿年历史的岩石的话，你就必须接受（±）数千万年的误差。如果你想追溯一块有数亿年历史的岩石，你必须接受（±）数百万年的误差。如果你想追溯一块有几千万年历史的岩石的话，你就必须接受（±）数十万年的误差。

为了更好地理解放射性“时钟”如何工作，我们首先要明白“放射性同位素”的意义。所有的物质都由元素构成，这些元素往往同其他元素是化合在一起的。总共大约有100种元素，如果你计数实验室探测到的元素，应该略多于这个数字；如果你仅仅计算那些发现于自然界的元素，则要略少于这个数字。举一些元素的例子：碳、铁、氮、铝、镁、氟、氩、氯、钠、铀、铅、氧、钾和锡。我认为所有人（甚至包括神创论者）都接受的原子学说告诉我们，每个元素都有它们特定的原子，这个特定的原子是一种元素可以被分割的最小粒子，没有这个粒子，它就不能成为那种元素。那这个原子长什么样呢？比如铅原子、铜原子、碳原子长什么样呢？不用说，它肯定看起来一点也不像是铅、铜或碳。它看起来也不像是任何东西，因为它太小了，根本不能在你的视网膜上形成任何种类的影像，甚至用超强的高倍显微镜来看也不行。我们可以用类比法或模型来帮助我们想象一个原子。最著名的一个模型，是丹麦大物理学家尼尔斯·玻尔（Niels Bohr）提出的“玻尔模型”；该模型是一个微型的太阳系，但它现在已经相当

过时了。其中，原子核扮演太阳的角色，围绕在它周围轨道中的电子就好比各大行星。正如太阳系一样，原子几乎所有的质量都集中在原子核（相当于“太阳”）中，电子（相当于“行星”）和原子核之间的空隙则几乎是所有的体积。与原子核相比，每个电子都是微不足道的；与原子核与电子之间的空间相比，原子核与电子都是微不足道的。人们喜欢的一个形象比喻，描绘了这样一幅图景：原子核相当于一个大体育场最中间的一只苍蝇，距它最近的一个原子核邻居相当于毗邻的另一个体育场的最中间的一只苍蝇。每个原子的电子绕着它们各自的“苍蝇”在轨道里东奔西跑。它们都小于最小的昆虫，甚至小到和“苍蝇”完全不在一个数量级。我们观察铁块或岩石的时候，我们“真正”在看的，几乎是一个“空的”空间，它们之所以看起来和感觉起来是“固体性的和不透明的”，是因为我们的感觉系统和大脑发现，把它们当成固体和不透明物处理“很方便”。对于大脑来说，把岩石描绘成固体很方便，是因为我们没法穿过岩石。因为原子之间有电磁力，所以我们不能穿越某些事物，这就是我们体验的“固体”的感觉。我们对“不透明”的体验则是光线照射到一个物体表面全部反弹回来，没有光线穿过。

原子由三种粒子构成（至少玻尔模型是这样设想的）。电子我们已经讲过了，另外两种粒子要远远地大于电子，但它们的“渺小”仍然是我们无法想象的，也是我们的感官所无法体验到的。它们被称为质子和中子，都分布于原子核中。这两种粒子大小相仿。任何一个给定的元素，其质子数都是一定的，并且等于其电子数。这个数字被称为“原子序数”。这是每个元素独有的特性，而且在原子序数表（著名的元素周期表[注]）中，序数是没有间隔的。在这个序列中的每一个数，都对应着特定的一种元素，并且，仅对应一种元素。原子序数为1的元素是氢，2号是氦，3号是锂，4号是铍，5号是硼，6号是碳，7号是氮，8号是氧，等等，直到很高的序数如92（铀的原子序数）。

质子和电子都带有一个单位电荷，并且电性相反——我们规定其中一个为“正电荷”，另外一个为“负电荷”。在元素之间相互形成化合物时，这些电荷很重要，许多反应是由电子来达成的。原子中的中子则被束缚在原子核中，和质子待在一起。但中子不像质子，中子不带任何电性，并且它们在化学反应中不起任何作用。每一个元素中的质子、中子和电子，都和其他任何一个元素中的质子、中子、电子一模一样。不会有这样的说法，例如说一个金样的质子，或一个铜样的电子，或一个钾样的中子。质子就是质子，只是质子。铜原子之所以是铜原子，是由于它恰恰所具有的29个质子（并且恰好有29个电子）。我们通常理所当然地认为的“铜”，是一种化学物质，化学是一种电子的舞蹈，全部都关乎于原子间通过它们的电子相互作用。化学键很容易断开和新建，因为在化学反应中，只有电子才进行分离和交换。要断开原子核之间的引力，则难得多。这也是为什么“裂解原子”是如此具有威胁了——但这也是可以办到的，在“原子核”中完成，与化学反应正相反，这也是放射性“时钟”所依靠的原理。

电子的质量可以忽略不计，因此，一个原子的总质量（即它的“质量数”）就相当于组成它的质子和中子数之和。这常常是其“原子序数”的两倍有余，这是由于通常情况下，原子核中的中子数都会比质子数多一些。原子中的“中子数”并不能像“质子数”那样，可以被用来判定一个元素。一个给定的元素，可以有不同的版本，被称为“同位素”，这意味着它们具有不同的中子数，但有相同的质子数。一些元素，例如氟，仅有一种天然同位素。氟的原子序数是9，质量数是19，从这里你可以推断出它有9个质子和10个中子。其他元素则有很多的同位素。铅有5种常见同位素，都具有相同的质子数（以及电子数）——82，这也是铅的原子序数，但是铅同位素的质量则落在202~208的一个范围内。碳原子有3种天然存在的同位素，碳-12是很常见的一种，其质子数和中子数相同，都是6。同样还有碳-13，但是它寿命很短，不需考虑。碳-14很少见，但是当我们用于追溯比较晚近的有机样品时，它就不那么少见了。我们即将看到这一点。

接下来，我们要讲另一个很重要的背景事实：一些元素的同位素很稳定，另一些则不稳定。铅-202就是一种不稳定同位素，铅-204、铅-206、铅-207和铅-208则是稳定同位素。“不稳定”意味着这些原子会自发地衰变成其他原子，并且其衰变速率是可以预测的（尽管不可预测其确切时刻）。这个衰变速率的可预测性是所有放射性“时钟”的关键，“不稳定”的意思是“放射性”。放射性衰变有好几种，这才有可能构成有用的钟表。理解这个，对于我们的目的而言并不那么重要，但是我在这里解释这么多，是想展示出物理学家在这些事物上已经解决了多少壮观的细节层面的问题。正是这样的细节，嘲笑了那些妄图驳倒放射性时钟证据，让地球如彼得·潘一样永远年轻的神创论鼓吹者。

所有的这些不稳定性，都涉及中子。其中第一种情况是，一个中子转化成了一个质子。这意味着原子质量保持不变（因为中子和质子的质量相当），但是原子序数增长了一位，所以这个原子变成了一个不同的元素，在原子序数表中上升了一位。举例来说，原子质量为24的钠转变成了原子质量为24的镁。第二种放射性衰变，刚好是相反的转变——一个质子转变成了中子。同样的，原子质量是保持不变的，但是，这一次原子序数降低了一位，于是在原子序数表中，这个原子转化成了低一位的元素。第三种放射性衰变也产生了同样的结果。一个游离的中子碰巧撞上一个原子核，撞出了一个质子，并取代了它的位置。再一次，原子的质量没有变化，原子序数降低了一位，并且原子转化成了原子序数表上较低一位的元素。还有第四种更复杂的衰变，一个原子分裂出一个被称为“α粒子”（alpha particle）的粒子，一个α粒子是由结合在一起的两个质子和两个中子组成的。这意味着质量数降低了4位，原子序数降低了两位。在原子序数表上，这个原子衰变为低了两位的元素。一个发生α衰变的例子，就是从具有强烈放射性的同位素铀-238（有92个质子和146个中子），衰变为钍-234（有90个质子和144个中子）。

现在，我们接近了整个问题的核心。每个不稳定的放射性同位素的衰变，都有其特有的速率，并且我们现在都已经可以确定（这些速率）。此外，其中一些的衰变速率比另一些慢很多。所有的衰变，都是指数性的。“指数性”的意思就是，假设你以100克的放射性同位素开始衰变，在一个给定的时间内并非一个固定的量（如10克）会转变为另外一个元素。而是说，所剩的粒子以一个固定比例转变成另一种元素。最受欢迎衡量衰变速率的方法是利用“半衰期”。一个放射性同位素的半衰期是指一半的原子衰变所需要的时间。无论有多少原子已经衰变了，半衰期保持不变——这就是指数性衰变的意思。你会发现，由于这样连续的减半，我们永远不会知道何时它会全部衰变完。然而，我们可以说，在经过足够长的时间后，例如10个半衰期，余下的原子数目太小，已没有任何实际意义了。例如，碳-14的半衰期就大约在5000~6000年之间。对于50000~60000年的古老标本，“碳年代测定法”就没有用了，我们需要转向更缓慢的时钟。

铷-87的半衰期是490亿年，镄-244的半衰期是3.3毫秒，这些惊人悬殊也表明了时钟可测的巨大范围。尽管碳-15的2.4秒的半衰期对于解决进化问题太短了，但碳-145730年的半衰期对于追溯考古学时间，则是正好合适的尺度。现在，我们就来讨论一下这个问题。在进化时间尺度上，一个常用同位素是钾-40，其半衰期为12.6亿年，我将以它为例，来解释使用放射性时钟的整体思想。它通常被称为“钾氩时钟”。这是因为氩-40（在元素周期表中比钾高一位）正是钾-40衰变后的元素之一（另一种元素，经一种不同的放射性衰变产生，是钙-40，在元素周期表中比钾低一位）。如果以一定量的钾-40开始衰变的话，经过12.6亿年，一半的钾-40会衰变成氩-40，这就是“半衰期”的意思。再经过12.6亿年，余下钾的一半（最初钾的1/4）又会衰变成氩-40，依此类推。经过一个稍稍短于12.6亿年的时间段，会有相对比例的较少的钾的量会衰变。因此，你可以想象一下，在一个封闭空间，开始时没有氩-40，只有钾-40。上亿年的似水流年过去，一位科学家来到这个封闭空间，测量了它的钾-40和氩-40的相对量（不管

两者的绝对量如何）；在已知钾-40的半衰期，并设定一开始没有氩-40的情况下，从这个比例上，我们可以估计出从衰变开始后逝去的时间——换句话说，就是该时钟被“清零”之后流逝的时间。请注意，我们必须知道母同位素（钾-40）对子同位素（氩-40）的比例。此外，正如在本章前面我们讨论过的一样，很有必要知道我们的时钟是否有装置进行“清零”。那么，说到放射性时钟被清零，这到底意味着什么呢？结晶的过程恰好解释了这个问题。

像地质学家使用的所有放射性时钟一样，钾/氩计时只适用于所谓的“火成岩”。火成岩（igneous rocks）得名于拉丁语中的“火”，它由熔岩（地下花岗岩的岩浆和火山中的玄武岩岩浆）固化得来。熔岩固化形成花岗岩或者玄武岩时，是以晶体的形式形成的。这些小晶体一般不会很大，透明的晶体看上去像石英一样，但是这些晶体，相对于肉眼看到的晶体，它们真的是太小了。这些晶体有好几种类型，其中一些，例如说一些云母，包含着钾原子。在这些原子中，就有放射性的同位素钾-40。当一个晶体开始形成时，在熔岩固化的时刻，里面只有钾-40没有氩。在某种意义上来说，时钟被清零时，晶体中没有氩原子。数百万年过去，晶体中的钾-40缓慢衰变，被一个接一个的氩-40原子所取代。累积的氩-40的量，就可以用来衡量自这块岩石形成后流逝的时间。但是，由于我刚才解释的原因，只有当用钾-40和氩-40的比例表示的时候，这个量才是有意义的。当这个时钟被清零的时候，钾-40的比例是100%，经过12.6亿年后，比例将变成50∶50，再经过一个12.6亿年，余下的钾-40的一半会转变成氩-40，以此类推。中间比例，则意味着自“晶体钟”清零以来的“中间时刻”。所以，对于地质学家，在他们今天获得的一小块火成岩中，测量钾-40和氩-40的比例，就可以断定这块岩石从熔岩状态开始结晶距今有多久了。火成岩很具代表性，它富含多种不同的放射性同位素，不仅仅有钾-40。火成岩固化中比较幸运的方面是，它是如此地突然——以至于给定的一小块岩石中所有时钟都是被同时清零的。

只有火成岩才提供放射性时钟，但是火成岩中几乎从来没有发现过化石。化石形成于像石灰岩、砂岩这些沉积岩中，它们都不是固化的火山岩浆。它们都是逐渐地沉积到海底、湖底或河底的泥浆、煤粉或沙子构成的岩层。从古至今，这些泥或沙逐渐变得致密，像岩石一样坚硬。陷入泥土中的生物尸体就有可能变成化石。虽然只有一小部分尸体真的变成了化石，但沉积岩是唯一值得一提的包含任何化石的岩石。

遗憾的是，沉积岩不能用放射性时钟来进行年代测定。将形成沉积岩的泥沙个体颗粒中，很可能已经含有钾-40或其他放射性同位素，因此可以被认为包含“放射性时钟”，但不幸的是，这些时钟对我们没什么用，因为它们没有被恰当地清零，或者它们彼此被清零的时间并不相同。被压实形成砂岩的沙粒最初可能是火成岩的碎渣，但是这些被研磨成碎渣的火成岩，固化的时间并不相同。每一颗沙粒都有一个在各自不同的时间被清零的时钟，这个时间可能远在沉积岩形成之前，以及远在其中我们企图追溯的化石的年代之前。所以，从计时的角度来看，沉积岩简直就是一团糟。它没法用。至多能做的就是追溯沉积岩附近发现的火成岩，或者埋藏其中的火成岩，这种做法得出的结果还是很不错的。

为了追溯一块化石，并不是说你非得去找像三明治夹肠一样，夹在两块火成岩厚片中间的岩石，这个比喻只是为了简明阐释这个法则。实际使用的方法要更精妙。相似性可辨的沉积岩岩层出现在世界各地。早在人们发现放射性定年法之前，就已经鉴定并且命名了这些岩层：如寒武系（Cambrian）、奥陶系（Ordovician）、泥盆系（Devonian）、侏罗系（Jurassic）、白垩系（Cretaceous）、始新统（Eocene）、渐新统（Oligocene）、中新统（Miocene）。泥盆系的沉积物可让我们辨认出泥盆系，不仅在德文郡，也在世界其他地方（德文郡是英格兰西南部一个郡，泥盆纪就是以该郡的名字命名的）。它们互相之间明显地相似，并且含有相似的化石列表。地质学

家很久之前就已经知道了那些已经被命名的沉积物的沉积次序。只是，在放射性时钟出现之前，我们不知道它们是何时沉积的。我们可以把它们排序，这是因为（很明显）老一些的沉积物常常存在于年轻一点的沉积物之下。举例来说，泥盆系沉积物就比石炭系[注]要老，并且我们知道这条规则是因为，在世界上这两个岩层同时存在的地方，泥盆系岩层通常位于石炭系岩层下方（也有例外的情况，但从其他证据来看，我们可以断定那是因为岩石被倾转过来了，甚至是被整个翻转了）。我们通常并不能足够幸运地找到一个有完整序列的岩层，从底层的寒武系一直到顶层的近代。但是由于岩层相当好辨认，我们可以通过在世界各地实施“菊花链法”和“拼图法”，从而得出它们的相对年龄。

因此，早在我们知道化石年龄很久之前，我们就已知道了它们的沉积顺序，或者至少已经知道那些已被命名的沉积物发生沉积的顺序。我们知道：寒武系化石，在全世界都要老于奥陶系化石；而奥陶系化石则要老于志留系（Silurian）化石。然后是泥盆系，再然后是石炭系、二叠系（Permian）、三叠系（Triassic）、侏罗系、白垩系等，并且在这些被命名的主要岩层中，地质学家也辨认出了它们的亚阶：上侏罗统（upper Jurassic）、中侏罗统（middle Jurassic）、下侏罗统（lower Jurassic）等。

被命名的地层通常是通过它们所含的化石被辨认出来的。而我们将要用这些化石的次序，作为进化论的证据！这会不会有陷入循环论证的危险呢？当然不会！想想看，寒武系化石是一个特征性集合，明白无误地可辨认出是寒武系的。而现在，无论我们是在哪儿发现的岩石，目前我们使用的特征性化石集合，只是用作寒武系岩石的标签［即指示物种（indicator species）］。这其实就是石油公司雇用化石专家的原因——要他们去鉴定特定岩石所在的岩层，通常利用微体化石，例如被叫作有孔虫以及放射虫的微小生物们。

人们编制了一份典型化石的列表，用它来辨认奥陶系化石、泥盆系化石等之类。到目前为止，我们只用这些化石集合来辨认某块岩石是否属于如二叠系或志留系。现在我们转而去用那些被命名的岩层的沉积顺序（辅以在世界各地实施“菊花链衔接追溯法”）作为证据，来证明某一岩层比另一岩层更古老或更年轻。通过已经确立的这两套信息，我们可以观察一连串逐渐晚近的岩层中的化石，将它们逐一相互比较，来确定它们是否构成了一个明显的进化顺序。它们是否沿着一个明显的方向发展了？是否某些物种（如哺乳动物）只出现于某一确定的年代之后？之前则从未出现过？所有这些问题的答案都是肯定的——总是肯定的，没有例外。因为遵循我们鉴定地层的方法和获得时间顺序的方法，并不会必然产生这样一个事实，或必然导致这样一个结果，所以，这样的结果就是进化的强有力的证据。

事实就是如此——的的确确，在泥盆系岩层或更老的地层中没有发现任何一块“可以勉强称为哺乳动物的化石”。不是说它们在泥盆系岩层中出现的概率比后面时期的要小，而是它们真的从未见于早于某个确定时期的岩层中。但这并不是说“非这样不可”——可以设想这样的情形：我们从泥盆系开始向下挖掘，并且越挖越深，穿过志留系，挖向更深处，穿过奥陶系，我们突然发现，在寒武系时代（比前面任一时期都更古老）出现了大量哺乳动物！我们实际上并未作出这样的发现，但是这个可能性证明了——你不能指责这种论证是循环论证。在任何时候，只要有人在寒武系岩石中，挖出了一块哺乳动物化石，只要他们做到了，进化论就会迅速土崩瓦解。换而言之，进化论，是可以被检验的理论，因此，是一个科学的理论。在第六章中我还要谈到这一点。

神创论者试图解释这种现象的时候，常常变成一幕高雅喜剧。他们宣称，理解我们发现的主要物种化石顺序之关键是诺亚洪水（Noah’s flood）。下面直接引用自一个大受褒奖的神创论者网站。

地质岩层中的化石顺序表明：

（i）无脊椎一类（缓慢移动的海洋动物）会首先灭亡，然后是更具移动性的鱼类被洪水淤泥淹没。

（ii）两栖类（靠近海洋的）动物随着洪水的上升而灭亡。

（iii）爬行类（缓慢移动的陆栖动物），下一波灭亡。

（iv）哺乳类，能逃离上升的水面，体型越大、速度越快的存活得越久。

（v）人类，表现得最心灵手巧——紧抱木头不放等，以此来逃脱洪水。

对于我们在岩层中发现的各种化石的顺序来说，上述序列是一个相当完美、令人满意的解释。这可不是它们进化的次序，而是它们在诺亚洪水中被淹没的次序。

撇开所有反对这个高明解释的其他理由，这里要说，哺乳动物平均说来要比（例如）爬行动物能更好地逃避不断上涨的水位，这是一个统计趋势（而已）。然而，正如我们按照进化论应该预计到的，地质记录中，在很深的岩层中完全没有发现哺乳动物。如果你正对岩层向下挖，发现哺乳动物在统计意义上逐步减少，那么，“逃往山上”的理论基础就更为可信了（“逃往山上”指诺亚洪水时人和动物逃往山上的情形）。二叠纪之后完全没有了三叶虫，在白垩纪岩层之后完全没有了恐龙（鸟类例外）。再一次地，依据“逃往山上”的理论仅仅只能预测到统计学上的逐渐减少（这不符合实情）。

回到年代测定法和放射性时钟上面来。由于这些被命名的沉积层的相对次序已经众所周知，并且同样的顺序见于世界各地，所以我们可以使用覆在沉积岩层之上、之下，或侵入其中的火成岩，来追溯这些已经被命名的沉积岩层的年代，从而确定其内所含化石的年代。利用这个方法的“优化版”，我们可以追溯推出（如石炭纪或白垩系

的）火成岩上层附近的化石的年代，要比那些位于同一地层中略微下层的化石更近代一些。我们并不需要在我们想要追溯其年代的某具体化石附近找到一块火成岩。我们根据化石在（如泥盆系）岩层中的位置，就可以辨认出这块化石的年代，比如说属于泥盆纪晚期。从对世界各地的泥盆纪岩层中的岩石的放射性定年，我们知道泥盆纪大约结束于3.6亿年前。

钾氩时钟并不是地质学家可以使用的唯一一种时钟——这类时钟工作原理相同，但时间尺码各异。图11是一个从慢到快的时钟列表。请再一次注意，半衰期有着惊人的范围，从最慢的490亿年直到最快的少于6000年。更快的时钟，如碳-14，工作方式略有不同。这是因为这些高速时钟的归零必定是不同的。半衰期短的同位素，其在地球最初形成时所存在的全部原子，早已消失。在我转向碳年代测定法工作原理之前，有必要停下来考虑另一则证据——支持“古老的地球是一个年龄得用数十亿年来衡量的行星”的证据。

不稳定的同位素	衰变为	半衰期（年）
铷-87（Rubidium）	锶（Strontium）	49 000 000 000
铼-187（Rhenium）	锇-187（Osmium）	41 600 000 000
钍-232（Thorium）	铅-208（Lead）	14 000 000 000
铀-238（Uranium）	铅-206（Lead）	4 500 000 000
钾-40（Potassium）	氩-40（Argon）	1 260 000 000
铀-235（Uranium）	铅-207（Lead）	704 000 000
钐-147（Samarium）	钕-143（Neodymium）	108 000 000
碘-129（Iodine）	氙-129（Xenon）	17 000 000
铝-26（Aluminum）	镁-26（Magnesium）	740 000
碳-14（Carbon）	氮-14（Nitrogen）	5 730

图11 放射性时钟

地球上存在的所有元素包括150种稳定同位素和158种不稳定同位素，共计308种。在158种不稳定同位素中，有121种，要么是已经灭绝了，要么是因为不断更新而存在着，如碳-14（我们接下来就会看到）。如果我们考虑这37种还未灭绝的同位素，我们会注意到显著的一点。它们中的每一个的半衰期都超过7亿年。如果我们考虑那121种已灭绝的——每一个的半衰期都少于2亿年。顺便说一下，请不要误解。切记我们在这里讨论的是半衰期，而不是寿命！想一想一个有着1亿年半衰期的同位素的命运。半衰期短于地球年龄1/10左右的同位素，实际上已经“灭绝”了，除非在特殊情况下才能存在。除了我们理解的有特殊原因的情况，我们在地球上发现的同位素是那些半衰期长到足以在一颗很古老的星球上生存的同位素。碳-14是一个例外，而它例外的原因很有趣——它得到了源源不断的补充。因此碳-14作为时钟需要用不同于“长寿命的同位素”的方式来理解。尤其是，将碳-14时钟归零是什么意思？

---

1. 可惜，那个关于“门捷列夫在梦里悟出元素周期表之排布”的传说可能是假的。

2. Carboniferous以煤炭来命名，因为其岩层中经常发现煤炭。

碳

在所有元素中，碳似乎是生命最不可缺少的一种元素——在任何星球上，都难以想象缺少这种元素的生命。这是因为碳神通广大、能力非凡，可以形成链、环和其他复杂的分子架构。它通过光合作用进入食物网；光合作用是绿色植物吸收大气中的二氧化碳分子，并用太阳能使碳原子与水结合制造糖类的过程。我们自身和所有其他生物里的碳，归根到底是经由植物来自大气中的二氧化碳。当我们呼吸、排泄，甚至当我们死亡的时候，碳又不断地反向循环，重新回到大气中。

大气二氧化碳中的碳，大部分是碳-12，它不具有放射性。然而，一万亿颗碳原子中大概有一个是碳-14，它具有放射性。碳-14的半衰期是5730年，像已经证实的那样，它迅速衰变成氮-14。植物的生化过程对这两种碳的差别视而不见。对于一株植物，碳就是碳。因此，植物吸收碳-12时，也同样吸收碳-14，并且在糖中包含了两种碳原子，并保有与它们在大气中存在时同样的比例。从大气中吸收的碳（包括同样比例的碳-14原子）迅速（相对于碳-14的半衰期）通过食物链传播，依照植物被食草动物所食，食草动物被食肉动物所食的食物链，依此类推。所有生物，无论植物还是动物，都有近似相同的碳-12与碳-14的比例，与你在大气中所发现的比例相同。

那么，时钟什么时候归零？在生物（无论植物还是动物）死亡的时候——当它从食物链脱离，与通过植物得自大气的新鲜碳-14流分开时。随着世纪更替，在生物尸体、木块或布中（或任何事物之中）的碳-14，都稳定地衰变成氮-14。因此，样本中的碳-14相对于碳-12的比例越降越低，低于活生物和大气所共有的标准比例。最终，它们都

会变成碳-12，或更严格地说，碳-14的含量微小到无法测量。而碳-12与碳-14的比例可以用来计算已经流逝的时间——自从生物的死亡使它脱离了生物链，不再与大气发生交换以来经历的时间。

好倒是好，但是只有大气中的碳-14得到源源不断的补充，这个方法才会奏效。若非如此，半衰期短的碳-14很早以前就在地球上消失了，就像其他所有半衰期短的天然同位素一样。碳-14是特例，因为宇宙射线轰击上层大气中的氮原子，可以不断地产生碳-14。氮气是大气中最主要的成分，氮的质量数是14，和碳-14一样。区别在于碳-14有6个质子和8个中子，而氮-14有7个质子和7个中子（记住，中子的质量几乎等于质子的质量）。宇宙射线粒子可以击中一个氮原子核的一个质子，而把它转化成中子。这时，氮原子就变成了碳-14，在元素周期表中，碳是比氮低一位的元素。从一个世纪到另一个世纪，这种转换发生的速率几乎是常数，这就是碳定年法奏效的原因。事实上，这一速率并不是完全恒定的，为准确起见，我们要对此作出校正。幸运的是我们有一个大气中碳-14波动供应的精确的校正，把这个考虑进去，可以优化我们的年代测算。前面讲到，在与碳测定年代覆盖的年龄范围大致相同时，我们有一个替代方法可测定木材的年代——树木年代学，它完全可以精确到最接近的年份。把碳-14定年法测定的木材样本的年龄，和树木年轮定年法所独立确定的木材样本年龄相比，我们就可以校正碳-14定年法的涨落误差。然后，我们可以使用这些已校准的测量方法，追溯我们的没有年轮数据的有机样本（大多数样品都没有年轮）。

碳定年法是一个相对现代的发明，是晚至1940年代才发明的。在这项技术的早期，年代测定过程需要大量的有机材料。到1970年代，碳测定年代采用了质谱分析法技术，因此现在我们只需要少量的有机材料。这带来了考古定年方面的革命。最著名的例子是都灵裹尸布（Shroud of Turin）。因为这块大名鼎鼎的布似乎很神秘，上面有一个蓄胡须的、钉死在十字架上的人的痕迹，很多人认为它可能来自耶

稣时代。据历史记录，它第一次出现在14世纪中期的法国，此前没有人知道它在哪里。自从1578年起它就被收藏在都灵，1983年起由梵蒂冈保管。当质谱法使测定一个微小的裹尸布样本成为可能，而不是像以前那样需要大量的布，梵蒂冈允许切去一小块布。布块被分成三个部分，分送到三个专门从事碳年代测定的主要实验室，分别位于牛津大学、亚利桑那大学和苏黎世大学。这三个实验室在严格独立的条件下工作——不交换意见——然后报告了他们对编织这块布的亚麻材料“死亡”年代的判定。牛津大学报告的是公元1200年，亚利桑那大学报告的是公元1304年，苏黎世大学报告的是公元1274年。这些数据都在正常误差范围之内，彼此并不冲突，并且在时间上，与历史上第一次提到裹尸布的时间1350年相对应。裹尸布的年代测定仍存有争议，但不是由于对碳定年法技术本身的怀疑。例如，裹尸布中的碳可能被一场火所污染，众所周知这发生在1532年。我不会再深入追究这个问题，因为裹尸布的话题属于历史范畴，而不是进化范畴。然而，这是一个很好的说明方法和事实的例子。事实是：碳定年法不像树木年代学能精确到最近的年份，它只能精确到最近的一个世纪。

我已经再三强调，现代的进化侦测，有大量不同的“时钟”可以使用，并且它们各自擅长测定不同长度的，但又有重叠的时间尺度。鉴于一块岩石固化时，其中所有的时钟都是同时清零的，那么可以用各种放射性时钟对这块石头的年龄进行独立的估测。估测之后，把结果进行对比，发现不同的时钟得出了一致的结果（在预期误差范围内）。这就给时钟的准确性以极大的可信度。因此在已知的时钟岩石上互相校准和核查后的时钟，就能可信地用于测定我们感兴趣的事物的年代，例如地球本身的年龄。目前认定的年龄46亿年是几个不同时钟的趋同的估计。这样的一致性并不令人意外，可惜我们还是要一再强调这一点，因为令人惊讶的是，正如我在引言和附录中所指出的——约四成的美国人（和较少比例的英国人）声称他们认为地球的年龄不但要远远小于所测量的数十亿年，而且少于一万年。可叹的是，

特别是在美国和大多数伊斯兰国家，其中的一些“历史否认者”手中握有权力，可影响学校及其教学大纲。

历史否认者会说钾氩时钟是有问题的。钾-40现在是以极其缓慢的速度衰变，但假使诺亚洪水以前并非如此，情况将会怎样呢？在那之前，如果钾-40的半衰期根本不同，不是12.6亿年，而是比如只有几百年呢？对这种断言的专门反驳非常精彩。物理法则，究竟凭什么、为什么要发生如此庞大且如此“方便、顺手”的变化？特别是，当你必须向每一个单独的时钟提出“非分的要求”，进行共同的调整，这种变化就更加离奇了。目前，可适用的同位素全都彼此协调一致地认为地球起源于40亿~50亿年前。得出这样的结果所基于的认定是“它们的半衰期一直保持不变，同我们今天测出的一样”——已知的物理规律的确强调了它们应该如此。历史否认者将不得不以其各自的比例，篡改所有同位素的半衰期，才能造出同位素们全都认可“地球起源于6000年前”的效果。这就是我所说的“非分的要求”！而且我还没提及产生同样结果的“其他各种年代测定方法”，例如“裂变轨迹定年法”。鉴于不同时钟在时间尺度上有巨大差异，请想一想——要对物理法则进行多么重大的刻意改造和复杂诡辩，才能让所有的时钟彼此协调，横跨多个数量级，来证明地球的年龄是6000年而不是46亿年！考虑到进行这种诡辩的唯一动机，只是想支持青铜器时代一个特定的沙漠部落的起源神话，至少可以说——居然有人被此愚弄，真令人讶异。

另外还有一种类型的进化时钟——分子时钟，但我要把它放在第十章讨论，在此之前，我们要先介绍一些分子遗传学知识。

第五章 就发生在我们眼前

我用了这样一个比喻：侦探在罪案结束之后，来到现场，从残留下来的线索中，重建必定曾经发生过的罪案过程。但是，我可能太急于承认“人们不可能目睹进化”这种事了。虽然绝大多数进化变化发生在人类诞生之前，但是仍有一些非常快速的进化例子，能让我们在有生之年，就看到进化的发生。

有一种主张看上去很有道理——甚至可以通过大象，来目睹进化。大象是达尔文本人选出的“生殖最慢的动物”，其世代交替的时间最长。造成非洲象死亡的最重要的原因，是人们用枪支狩猎大象，获取象牙——或作为打猎的战利品，或出售作为雕刻材料。很自然地，猎人们倾向于选择具有最大象牙的个体。这意味着，至少在理论上，象牙小的个体会处于选择优势地位。进化总是这样，选择带来的诸压力之间，是有冲突的；而我们看到的进化，其实是一种妥协。在与其他大象竞争时，具有较大象牙的个体无疑更有优势；但当碰到持枪的猎人时，这种优势反而会变成一种劣势。任何狩猎活动的增加（无论是非法偷猎还是合法打猎）往往会把优势往“小象牙个体”的一端转移。在所有其他条件相同的情况下，作为人类狩猎的结果，我们可能会期望“象牙变小”成为一种进化趋势，但我们可能会认为，这种趋势要经历几千年，才能被探测到。我们不指望能在一个人的一生中，就看到这种趋势。那么，现在让我们看一些数字。

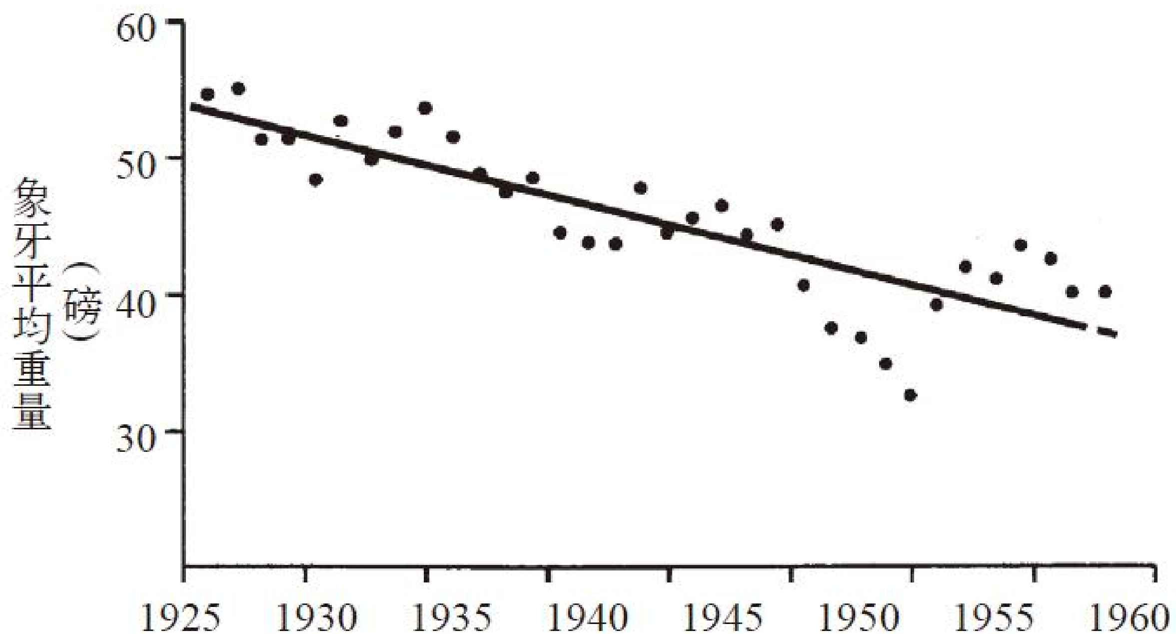


图12 乌干达大象象牙的重量

图12出版于1962年，显示了来自乌干达狩猎部的数据。这里涉及的只是持照猎人合法射杀的大象，它显示了1925—1958年（在此期间，乌干达是英国的保护国）象牙逐年的磅重，黑点是每年的数据。穿过各点的数据不是随意画出来的，而是通过所谓的“线性回归统计技术”画出来的。注你可以看到，在33年里，有一个下降的趋势。而且这种趋势具有高度的统计学意义，这意味着，我们几乎可以肯定这是一个真正的趋势，而不是一个随机效应。

事实上，统计学所显示的缩小趋势，并不必然意味着它是一个进化趋势。如果你在20世纪绘制一个“20岁男性”的平均身高图，逐年绘制，你会看到许多国家有“越来越高”的显著趋势。这种增高，通常被认为是营养改善的效果，而不被认为是一个进化趋势。然而，在大象的例子中，我们有充分的理由怀疑：存在着强大的选择压力，要淘汰大象牙。虽然图中只反映了合法持照猎杀所获得的象牙，但导致这一趋势的选择压力很可能主要来自偷猎。我们必须严肃考虑“这有可能是一个真正的演化趋势”；如果确实如此，它就是一个非常迅速

的演化趋势。我们必须谨慎推论，不要作言过其实的结论。这可能是我们能持续观察到的强烈的自然选择，这极有可能导致了大象种群中基因频率[注]的变化，但这种遗传效应迄今尚未被证实。这种大牙象和小牙象之间的区别，也可能是一种非遗传差异。无论如何，我倾向于认真地考虑这一可能性——这真的是一种演化趋势。

更重要的是，野生非洲象种群的世界权威，我的同事伊恩·道格拉斯－汉密尔顿（Iain Douglas-Hamilton）博士对这件事非常严肃认真，并且很理性地认为，需要研究更多的亚洲象。他推测以上这种趋势在1925年之前很久就开始了，并且在1958年之后仍然持续。他有理由认为同样的、发生在以前的原因，造成了许多亚洲象地方种群的无象牙的状况。在这里，我们似乎有一个“表面上证据确凿的快速进化事例”发生在我们的眼前，一个可能非常有价值的研究。

现在让我谈一谈另一事例——最近对亚得里亚海岛屿上蜥蜴的一些有趣研究。

---

1. 你可以这样考虑：假设所有可能的直线。每条直线，测量所有点到该直线的距离，通过求这些距离平方和的办法（平方后的数据是基于一个很好的数学依据，离题太远，就不讲了），计算该直线与这些点的拟合程度。在所有可能的直线中，所有的点到线的距离的平方和最小的那一条，就是拟合回归直线。它向我们展示的趋势，使我们的眼睛不会被这些纷乱的点所迷惑。统计学家还进行了一些独立计算（利用了该线的离散程度）来确定某条线作为趋势指标的可靠性，称之为统计显著性检验。
2. gene frequency，指群体中某一基因的数量。——编者注

波德·马卡鲁岛的蜥蜴

克罗地亚近岸有两个小岛，分别叫作波德·科皮斯特（Pod Kopiste）和波德·马卡鲁（Pod Mrcaru）。1971年，波德·科皮斯特岛上有一种普通的地中海蜥蜴——意大利壁蜥（*Podarcis sicula*），它主要吃昆虫；但波德·马卡鲁岛则没有这种蜥蜴。这一年，实验者从波德·科皮斯特岛带了5对这种意大利壁蜥，放生到了波德·马卡鲁岛。然后，2008年，另一组与安东尼·赫瑞尔（Antony Herrel）有关系的科学家（主要来自比利时）前来岛上考察，想看看发生了什么事。他们发现波德·马卡鲁岛上有一群丁口兴旺的蜥蜴，经DNA分析证实确实是意大利壁蜥。它们被认为是从原来的5对蜥蜴中繁衍下来的后裔。赫瑞尔及其同事对这些蜥蜴移民的后裔进行了观察研究，并比较了它们与原始祖先的岛屿上生活的蜥蜴，发现了显著差异。科学家可以合理地认为祖先岛屿（波德·科皮斯特岛）上的蜥蜴，代表了37年前的没有发生改变的祖先蜥蜴。换句话说，他们假定自己在用已进化了的波德·马卡鲁岛上的蜥蜴，比较未进化的波德·科皮斯特岛上的蜥蜴（该岛的蜥蜴是同一时间的，但属于祖型）。即使这个假设是错误的——例如，即使波德·科皮斯特岛的蜥蜴演变得同波德·马卡鲁岛的蜥蜴一样快——我们至少仍在观察自然进化在几十年尺度上的分歧演进：这种时间尺度是人类在自己的一生中可以观察到的。

在短短的37年时间里，两个岛屿的种群之间，产生了怎样的差别？注波德·马卡鲁岛的蜥蜴（也就是进化了的种群）头部更长、更宽和更高，大过“原始的”波德·科皮斯特岛上蜥蜴种群的头。这意味着前者能产生更大的咬合力。通常这种类型的改变，会伴有向更加素食方向的转变，波德·马卡鲁岛的蜥蜴，要比波德·科皮斯特岛上

的祖先类型，明显地吃更多的植物食物。波德·科皮斯特岛种群几乎完全以昆虫为食（节肢动物，见图13），而波德·马卡鲁岛的蜥蜴已经转变为植物为主，尤其是在夏季。

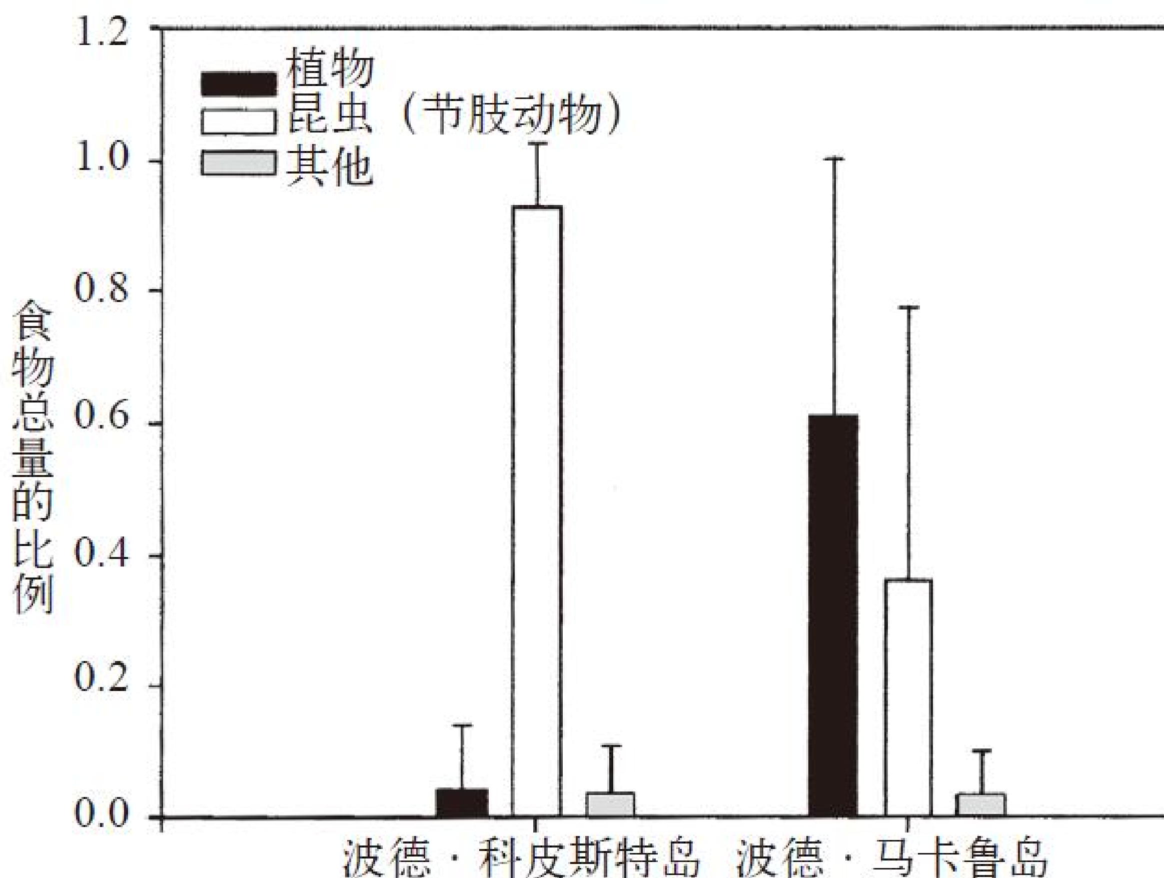


图13 亚得里亚海中两个岛屿上蜥蜴的夏季食物构成

动物改吃植物的时候，为什么会需要强大的咬合力？这是因为植物的细胞壁是由坚韧的纤维素构成的，而动物细胞则没有细胞壁。草食性哺乳动物，如马、牛和大象有巨大的磨盘般的牙齿，来研磨纤维素，非常不同于食肉动物和食虫动物的用于剪咬的尖锐牙齿。它们有庞大的下巴肌肉，以及相应的坚固的头骨，以利于肌肉的附着（想一下大猩猩头骨顶部中间的粗壮波峰）。注素食动物的肠子，也自有其特点。通常，动物需要细菌（或其他微生物）的帮助，才能够消化纤维素，许多脊椎动物的大肠生有一个“死胡同”叫盲肠，用于储存这些细菌；盲肠的作用相当于一个发酵室（我们的阑尾就是从我们更多

地以植物为食的祖先遗传下来的，是他们的大型盲肠的残留）。在特化的食草动物中，盲肠和大肠的其他部分，能够变得特别精致。肉食动物的大肠通常要比素食动物的大肠更为简单，也会更小一点。食草动物的大肠所生出的复杂装置中，有一个部位叫盲肠瓣。瓣是不完整的隔断，有时候是肌肉性的，能够用于调整大肠内食物的流动，或者减慢食物的流动；或者仅仅是增加盲肠内表面的面积。图14显示了一种近缘的、大量吃素的蜥蜴的盲肠解剖图，箭头指明了盲肠瓣的所在。现在，有趣的事情是：虽然盲肠瓣通常不见于意大利壁蜥，并且在该物种所在的科也是罕见的；但是，这些盲肠瓣事实上已经在波德・马卡鲁岛上的意大利壁蜥种群中开始演化出来了，也就是说，该种群仅仅在最近的37年，就迈出了向食草动物转化的步伐。这些蜥蜴的种群密度增加了，它们已不再像它们在波德・科皮斯特岛上的祖先种群那样保卫自己的领地。我应该重申一下，在这个案例中，唯一的独特之处就是：这些事情发生得非常快，发生在仅仅几十年的时间里。这就是发生在我们眼前的进化。



图14 盲肠瓣

1. 如果波德·马卡鲁岛的蜥蜴和它们37年前的祖先，以同样的速率发生进化的话，那么两个岛种群之间的差异应叠加至两倍。
2. 我们强壮的表亲鲍氏猿人（“胡桃钳人”，又有绰号为“坚果破壳器”和“亲爱的男孩”）在牙齿和头骨方面类似于大猩猩，这表明它们很可能是素食动物。

实验室里4.5万代的进化

这些蜥蜴平均的换代时间是大约2年，因此，波德·马卡鲁岛上所观察到的演化，只代表了大约18或19代。想一想，如果你跟踪三四十年细菌的演化，会看到什么呢？（细菌的换代时间是用小时甚至用分钟来衡量的，不是用年来衡量的！）细菌是演化学者找到的另一块“无价之宝”。在某些情况下，你可以把它们冷冻住，冷冻无限长的时间，然后让它们解冻复生，它们就会像什么都没有发生过一样，重新开始繁殖。这就意味着，实验员可以建立自己的“活化石记录”——对演化过程中任意想要的时间点进行“快照”。想象一下，如果我们可以让冰冻的露西起死回生，让她开始演化，该是怎样一种情景！［露西是人类学家唐·约翰森教授（Don Johanson）发现的著名的前人类化石。］而所有这种奇思妙想，是可以通过大肠杆菌来实现的。密歇根州立大学的细菌学家理查德·伦斯基及其同事，就进行了一项杰出的长期实验，做到了这一点。现代的科学研究，往往是一种集体性的合作，一种共同的努力。在下文中，我可能为了简便起见而时常提到伦斯基这个名字，但是，你在阅读的时候，请将它理解为“伦斯基及其实验室的同事和学生”。我们将会看到，为什么说伦斯基的实验对神创论者是一次打击？这是有充分理由的。这个实验，很漂亮地演示了“进化在行动”，即使你非常想要对这个实验“一笑置之”，你也是做不到的。而货真价实的神创论者，往往就爱“一笑置之”。我将在本节的末尾再讲一遍这个问题。

大肠杆菌（*E. coli*）是一种普通细菌，非常普通。在任何时间，这个世界上都大约存在1000亿亿株大肠杆菌；据伦斯基计算，其中大约有10亿株，此刻就存在于你的大肠中。它们中大多数都是无害的，

甚至是有益的。但是，有时也有做坏事的菌株，造成头条新闻。这种习以为常的进化创新，并不令人惊讶——虽然突变是罕见事件，不过，大肠杆菌的数量实在是太庞大了。如果我们假设，在一次细菌的生殖活动中，某一基因发生变异的概率低至百万分之一，那么，细菌庞大的基础数量将意味着每一天在世界的某个角落，基因组中的每一个基因都在变异。正如理查德·伦斯基所说的："这对于演化来说，有非常多的机会。"

伦斯基及其同事们，利用了这种机会——这是在实验室里用可控的对照方式实现的。他们的工作在每一个细节上都非常周密、仔细。这些细节的确为这些实验提供演化证据作出了贡献。因此，我将不吝篇幅地解释它们。这就意味着，接下来的几页将不可避免地比较复杂、比较精细，但是并不难懂。如果读者已忙了一整天、比较劳累，那么还是改日再读这几页为妙。这一实验的每一个细节都非常合理，所以稍微降低了理解的难度。因此，请跟着我，一步一步地来体验这个设计良好、执行得很漂亮的实验。

这些细菌是无性繁殖的——通过简单的细胞分裂进行繁殖。因此，很容易在短时间内，克隆出大量基因完全相同的个体。1988年，伦斯基把这样一个菌群置入了12个相同的烧瓶中，所有烧瓶都包含相同的营养液培养基，其中有葡萄糖作为重要的食物来源。这12个烧瓶（及其创始菌落）都被放置在摇床上——保持安全与温暖，并且大力摇动，使得细菌在培养基中保持均匀分布。于是，这12个烧瓶就建立了12支进化系，注定保持分隔，长达20年，并且进行实验记录：有点像以色列的十二支派（但以色列并无法律禁止各支派的混合）。

这12个菌落没有被永远保留在这同样的12个烧瓶中。相反，每个菌落每天都要换一个新瓶。试想一下，12长列烧瓶，伸展到远处，每列有7000多瓶，多么壮观！每一天，这12个菌落都被抽出一部分，然后重新装入一个新的干净烧瓶。这抽出的部分，正是旧瓶内体积的

1%，被抽出装入新瓶，其中的培养基富含新鲜的葡萄糖。然后，烧瓶中的“菌口”（细菌数量）开始扶摇直上，但是到了第二天营养耗尽，饥饿降临，“菌口”就达到平衡，不再增长。换句话说，每个烧瓶中的细菌都大量地繁殖自己，然后达到一个高位平台，这时，提取新的细菌样，注入新瓶，然后第二天再重复这一过程。因此，通过几千段这种高速的相当于“细菌的地质时代”的时间，这些细菌每日经历相同的从食物极大丰富到耗空挨饿的周期循环，而每日幸运的1%获救——被吸入一个“玻璃的诺亚方舟”，然后注入一个葡萄糖营养丰富的烧瓶（但依旧好景不长），这是“绝对完美的进化环境”，更重要的是，这个实验是并行地在12个独立支系中做成的。

伦斯基及其团队，每日重复这一实验，至今已经超过了20年。这意味着传递了约7000代的烧瓶，共计传递了4.5万代细菌的后代——平均每天6~7代细菌。我们来思考一下：如果我们人类回溯4.5万代，这将回到约100万年前的直立人（*Homo erectus*）时代，这个时间并不很久。所以，鉴于伦斯基在这次相当于100万年的实验中所捕捉到的细菌传代的任何进化变化，请想一想在1亿年的哺乳动物进化中，可能发生的远远更大的演变。而按照地质时间标准，甚至1亿年，也是比较近代的。

除了做进化的主实验之外，伦斯基小组还用这些细菌做了具有各种说明意义的副实验。例如在2000代之后，用另一种糖（麦芽糖）来取代葡萄糖，但我会集中在（从头到尾用葡萄糖的）主实验上。他们在整整21年的时间里，每隔一段时间，就对这12组细菌取一下样，看一看它们演化的进展如何。他们还把各菌落的样品冷冻、存储起来，作为可以支取的“化石储蓄”，代表了进化道路上关键的点。这一系列的实验设计得极其出色，怎么夸都不过分。

关于这一卓越的前瞻性规划，我们从其中一点就可以看出。你还记得我说的12个创始瓶都来自同一克隆的种入，因此开始时，它们在

基因上是完全相同的。不过，这并不是很确切——有一个有趣且狡黠的原因。此前，伦斯基实验室在研究一种基因叫*ara*，它有两种形式Ara+和Ara-。我们要分辨这两种形式，只有把细菌样品在一块琼脂板上做“涂板”（这里的琼脂板富含培养基以及阿拉伯糖和一种叫四唑的化学染色剂）。做“涂板”是细菌学家常做的事情之一。这里是指把一滴含有细菌的液体，滴到一片覆有琼脂凝胶薄层的平板上，然后培养这一块平板。在琼脂上混有的营养的喂养下，细菌菌落开始生长，形成扩大的圈子，像小小的童话魔环。[注]如果混合物中含有阿拉伯糖和指示剂染料，就能揭示出Ara+和Ara-之间的区别——正像加热隐形墨水一样，它们将分别表现为白色菌落和红色菌落。伦斯基小组发现，这种颜色的区分可以用作标签。我们看到，他们预先考虑到这么做的意义，而把12支系设立为6个Ara+菌落和6个Ara-菌落。这里举一个他们如何利用细菌的颜色编码的例子——他们用它来检查自己的实验室程序。在履行感染新瓶的“日常仪式”时，他们谨慎地交替处理Ara+瓶和Ara-瓶。这样一来，如果他们犯了一个错误——移液管沾染了液体或类似的东西，就会在他们后来做红/白样本实验的时候表示出来。巧妙吗？是的。很巧妙，也很严格。真正好的科学家，就要做到这两点。

但是，先忘了Ara+和Ara-吧。在所有其他方面，12支创始菌落开始都是相同的。除了Ara+和Ara-之外，未见其他差异，所以真的可以方便地把它们当作颜色标签，正像鸟类学家往鸟腿上绑上有色的环一样。

那么好吧，我们有了我们的“十二支派”，在相当于它们的地质时代的时间维度上大力迈进，并行演进，在相同条件下，经历反复的繁荣和萧条。一个有趣的问题是，它们将保持和它们的祖先一样吗？还是它们将发生演变呢？如果它们发生演变，所有12支系，将以同样的方式发展吗，还是它们将彼此发生偏离？

正如我刚才所说的，培养液中含有葡萄糖。这虽然不是唯一的食物，但它是一种限制性的资源。这意味着葡萄糖的耗尽，乃是限制菌口规模的关键因素——决定了每一天、在每一个烧瓶，细菌数量都会达到一个高位，然后停止攀升。换句话说，如果实验者在每日的瓶中加入更多的葡萄糖，在一天结束时，瓶中菌口的数量就会更高。或者，如果他们在菌口数达到高位之后，再加入葡萄糖，就能见证菌口的第二次暴增，升到一个新的高位。

在这种情况下，达尔文式的预想是，如果出现任何突变能帮助个别细菌更有效地利用葡萄糖，那么自然选择将有利于这些突变株——它们会在烧瓶中大力复制扩散，超过非突变株个体的数量。这个突变的类型，将大比例地感染该世系中的下一个烧瓶，随着瓶瓶相传，突变类型很快就会在菌落中形成垄断。这正是发生在所有12支系中的情况。随着“烧瓶世代”的推移，所有的12支系都相对于其祖先发生了改良：能够更好地利用葡萄糖这种食物来源。但是，有趣的是，它们发生改良的方式各有不同——即，不同的菌落，发展出了不同的基因突变。

科学家们是怎么知道这种情况的呢？随着谱系的进化，他们进行取样检查，比较每一个样品的适应度和初始菌落的“化石样品”适应度的区别，由此作出判断。请记住，“化石”是冷冻的细菌样本，解冻时能进行正常生活和繁殖。伦斯基及其同事们是如何比较这种“适应性”的？他们是如何比较“现代细菌”与它们的“化石祖先”的？他们有很天才的做法。他们从推定的已进化菌群中提取了样品，放入洁净的瓶中。然后，他们在同一个瓶中放入了同样数量的解冻菌落的样品。不用说，做这些实验的混合瓶，就和长期进化实验中的12支系完全隔开了，不再发生联系。这个副实验是用已不在主实验中进一步发挥作用的样品来做的。

因此，我们的这一个新实验瓶中含有两种竞争的菌株，“现代菌株”和“活化石菌株”，我们想知道两个品系中哪一个将占上风。但它们都混在一起，你要怎么办呢？当两者在“竞争场”中混在一起，你要如何区分两个品系？我告诉你，有一个巧妙的方法。你还记得颜色区别吧——“红”（Ara+）和“白”（Ara-）？现在，比如说你想比较5号菌落与祖先化石菌落的适应性，你会怎么做？让我们假设5号菌落是Ara+。那么，你要确保你现在和5号菌落作比较的“祖先化石”是携带着Ara-的菌落。如果6号菌落碰巧是Ara-菌落，所选择解冻和混合的“祖先化石”菌落就要都是Ara+菌落。伦斯基团队已经从以往的工作中知道，Ara+和Ara-基因本身并不影响适应性。这样，在任何情况下，他们就可以用“祖先化石”作为标准，结合彩色标记分析不断变化的各菌落的竞争力。他们要做的只是把混合瓶样品做“涂板”，观察琼脂上生长的细菌中，有多少是白色的，有多少是红色的。

正如我所说的，随着几千代过去，所有12个菌落的平均适应度都发生了增加。所有12支系，都能够在葡萄糖有限的条件下实现更好的生存。适应性的增加可以归因于一些变化。在所有12个后继烧瓶中，菌口增长速度更快，细菌的平均尺寸也发生了增长。图15描绘了菌落之一的平均细菌尺寸，代表了典型的情况。斑点代表了真实数据点。绘制的曲线是数学逼近。用这种特别的曲线，能最好地拟合所观测到的数据，这种曲线被称为二次曲线。注我们也完全可以用一条比二次曲线更复杂的数学函数，更好地拟合所观测到的数据，但是这个二次曲线还不错，所以似乎并不值得费心尝试更复杂的曲线。生物学家们经常用数学曲线来拟合观测到的数据，但生物学家（不像物理学家）不习惯看到这样的紧密拟合。我们的数据通常都太乱了。生物学与物理学不同，生物学中，只有在某种严格控制的条件下收集了非常大量的数据，才有希望得到光滑的曲线。伦斯基的研究是一个经典做法。

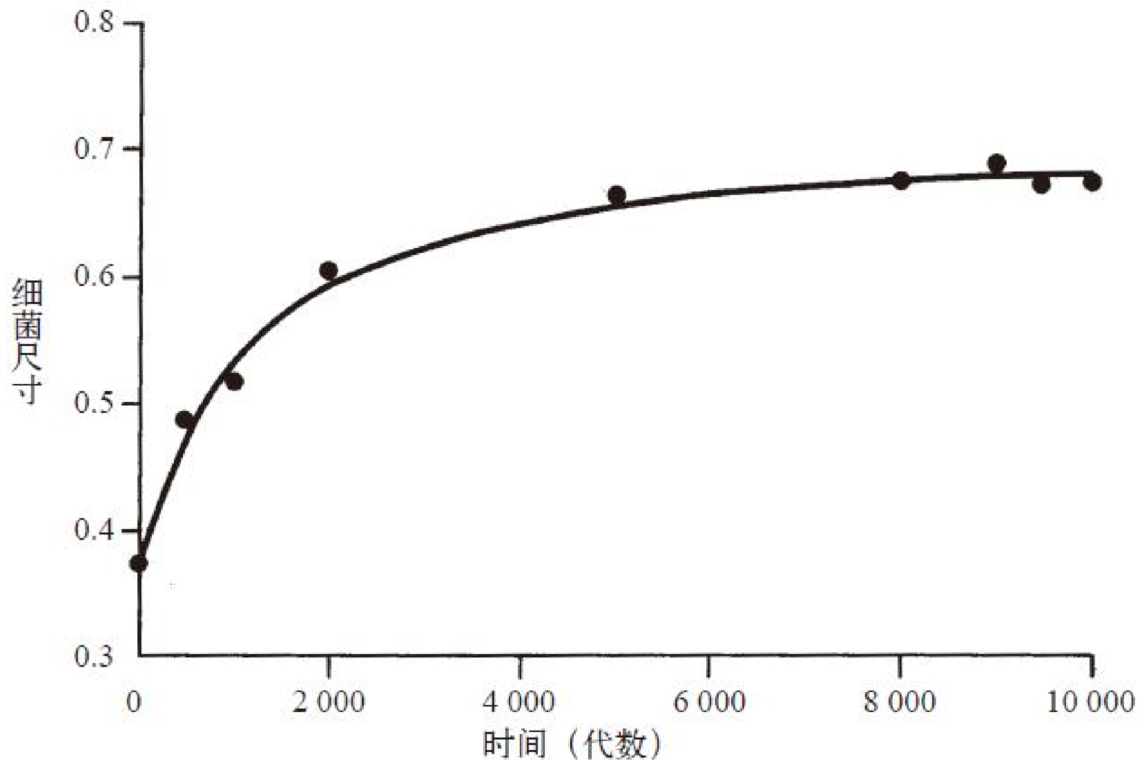


图15 伦斯基细菌实验：某菌落的菌体尺寸

你可以看到，菌体尺寸的增加，大部分发生在2000代左右。下一个有趣的问题是这样的：鉴于所有12个菌落，都随着进化时间增大了菌体尺寸，那么，它们都是以同样的方式、通过相同的遗传途径增大的吗？不，它们不是，这是第二个有趣的结果。图15表示了12支系之一的菌体增大情况。现在，请看对12个菌落最佳的二次曲线拟合（图16）。看一看，它们是多么的分散。它们似乎都在接近一个高台，但是12支中最高的那个高台，几乎是最低的高台的两倍。而且这些曲线有不同的形状：在10000代时达到最高值的那个曲线，一开始的时候，增长速度慢于其他的曲线，然后在不到7000代的时候，超越了其他的曲线。不要把这些高台混淆于“每天每个烧瓶内的菌口规模的高台”。我们现在所观察的时间，衡量的是烧瓶里的传代数，而不是单个烧瓶中以小时为单位衡量的细菌增长时间。

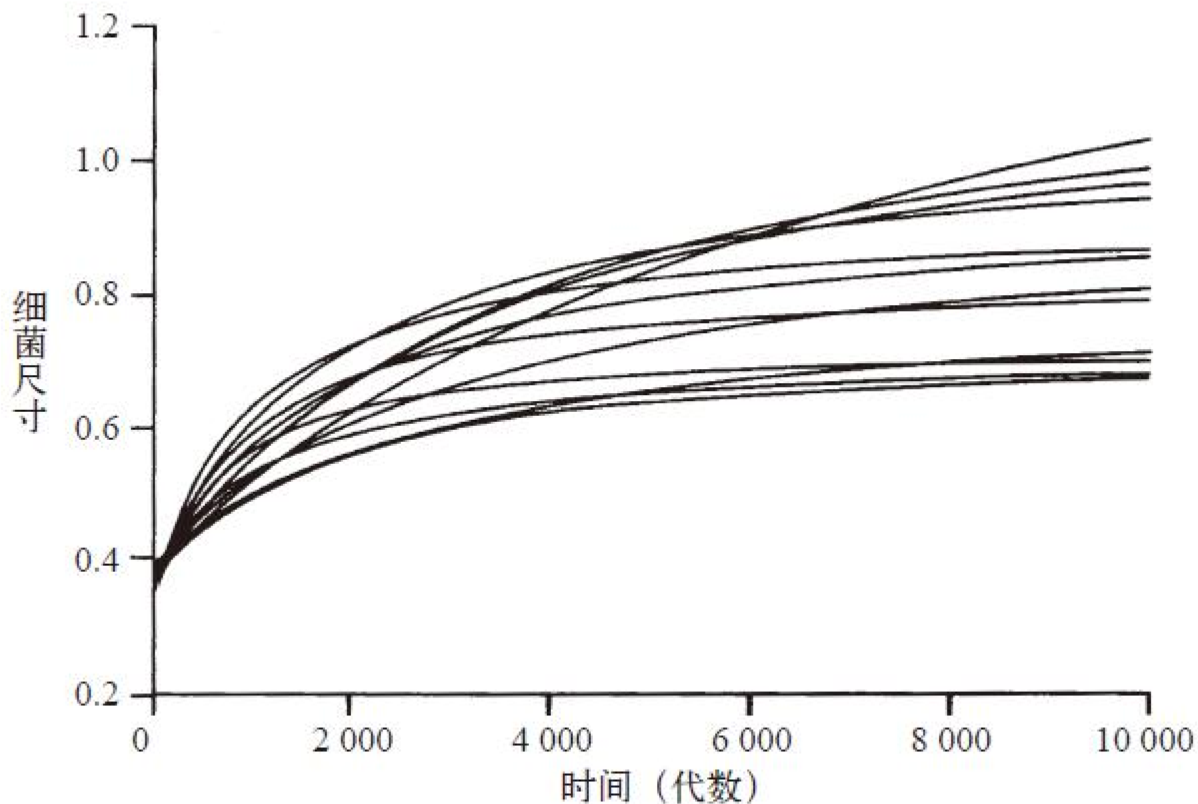


图16 伦斯基实验：12 个菌落中细菌的菌体尺寸

这种进化变化表明：当细菌处在这种“葡萄糖充裕/贫乏相交替”的环境中，为了生存而挣扎的时候，出于某种原因，尺寸变得越来越大对细菌是有利的。我不会猜测为什么菌体尺寸增大可能是一种优势——有很多可能性，但是，看起来是必须如此，因为所有12个菌落都这么做了。但是，要变大有很多不同的方式——不同的突变；而且，看起来在这个实验中，不同的进化谱系已发现了不同的方式。这是相当有趣的。但也许更有趣的是，有时两个菌落似乎独立地发现了相同的“变大”方式。伦斯基和另一组同事，拿出了两个菌落，来研究这种现象；这两个菌落分别叫Ara+1和Ara-1，似乎在超过20000代中，这两支遵循了相同的演化轨迹。他们观察两个菌落的DNA，发现了惊人的结果——59个基因的表达水平在两个菌落均发生了变化，所有59个基因都发生了同一方向的改变。如果不是自然选择，这种59个基因独立并行的事，就只能用神话来解释了。而这绝不可能是碰巧发生的。这

正是神创论者所说的不可能发生的事情，因为他们认为这太不可能有机会发生了。然而，事实上它就这么发生了。唯一的解释就是：这并不是偶然发生的，而是循序渐进、步步累积的自然选择，青睐于两个谱系中相同且独立的有益变化——真真正正的相同。

细胞随着代传而增大尺寸的平滑曲线图，印证了“改善是渐进的”这种观点。但是，或许它太循序渐进了？你难道不期望看到实际步骤——菌口“等待”下一个改善性突变发生吗？不一定。这种改善取决于几个因素，例如涉及的突变数目、每个突变的影响程度、非基因因素造成的细胞大小的变化，以及对细菌进行抽样的频繁程度。有趣的是，如果我们观察适应性的增加，相对于细胞尺寸，我们的确看到了一幅至少可以解释为更明显的梯度性的图片（图17）。你还记得，当我介绍二次曲线的时候，我曾说，可以找到一个更复杂的数学函数来更好地拟合数据，数学家称之为“模型”。你可以像在前面的图中所做的一样，用一个二次曲线模型来拟合这些点。但你也可以用一个“阶梯性模型”（step model）来实现更好的拟合，在这幅图中正是这样做的。这种拟合，不像“细胞尺寸图对二次曲线的拟合”那么紧密。在这两种情况下，都不能说数据完全地符合模型（这是永远也做不到的）。但是数据至少符合“我们观察到的进化变化，代表了突变的逐步积累”这种想法。注

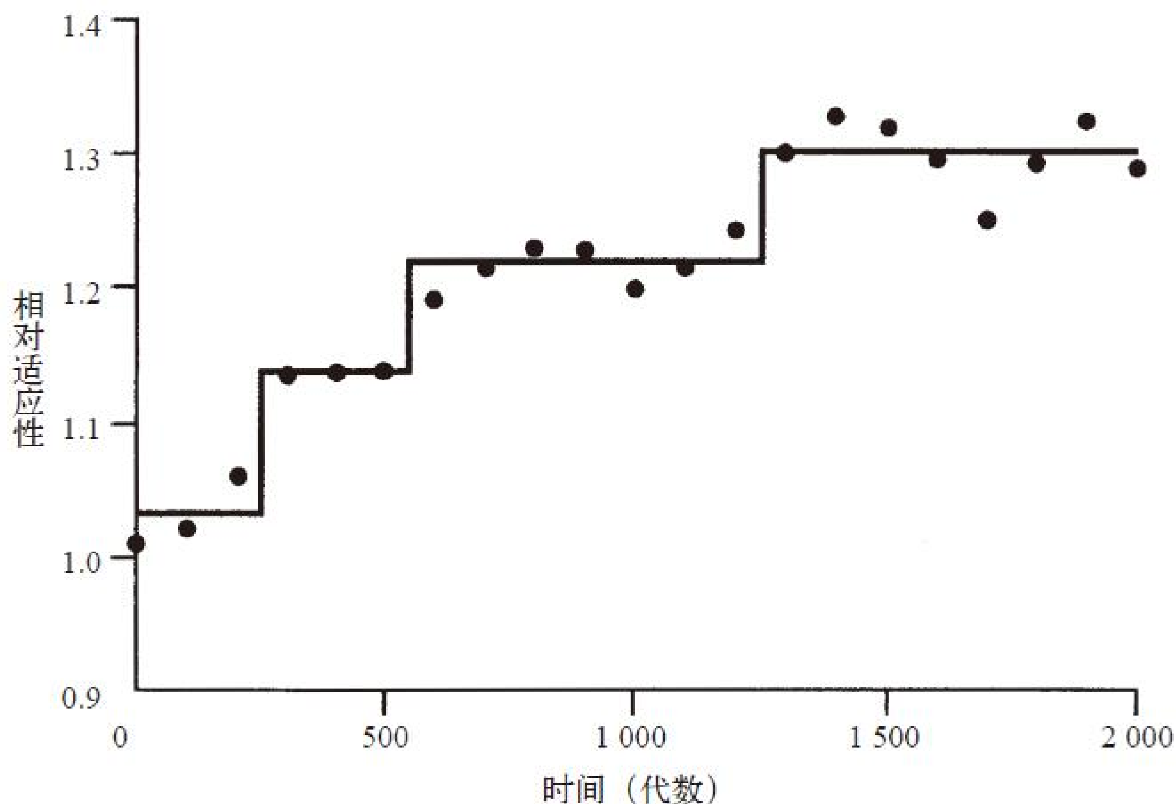


图17 伦斯基实验：适应性的增加

到目前为止，我们已看到了“进化在行动”的美丽演示：这是发生在我们眼前的进化，通过比较12支独立的谱系，而记录在案；以及通过把每一支谱系对比其“真正的活化石”，而记录在案。这是真正的活化石，不是比喻意义上的。

现在，我们已经准备好继续前进，来观察一个更有趣的结果。到目前为止，我已经暗示，所有12个支系，都以大体上相同的方式，演化出了改进的适应性，只是在细节上有所不同——有的快一点儿，有的慢一点儿。然而，长期的实验，揭示了一个戏剧性的异常。3.3万代之后不久，发生了一件非常显著的事情。12个谱系中的一支叫作Ara-3的菌落，突然发狂了。请看图18。纵轴标为OD，代表光密度或“混浊度”——是衡量烧瓶中菌口多少的一项指标。液体变混浊，是因为细菌数量增加了。我们可以测量混浊的程度，并表示为一个数值，构成

我们的“菌口密度指数”。你可以看到，直到约3.3万代，Ara-3菌落的“平均菌口密度”的OD值约为0.04，这和所有的其他菌落区别并不大。然后，仅仅在3.31万代的时候，Ara-3菌落的OD值（12支菌落中的唯一一支）开始垂直飙升——它上涨了5倍，OD值约为0.25。这个菌落的后继烧瓶中菌口猛增。仅几天后，这个菌落瓶稳定的典型高台OD值已经大于本支突变前的OD值6倍左右，也就是大于其他菌落的OD值6倍左右。然后，这一支在后继的世代，菌口密度都能达到这种更高的高台——只在这个菌落，其他菌落没有出现这种情况。仿佛是Ara-3菌落的每一只烧瓶中，都被额外加入了大量葡萄糖；而其他菌落则没有受此青睐。但是，并没有多加葡萄糖。所有的烧瓶中，都被严格分配了同样多的葡萄糖。

发生了什么事？Ara-3菌落突然发生了什么？伦斯基和两位同事进一步研究，并解开了谜团——这是一个精彩的故事。你还记得我说，葡萄糖是限制性资源，而任何“发现”了如何能更有效地利用葡萄糖的突变株，将具有一项优势。这的确是所有12支系的演变所发生的事。但我也曾告诉你，葡萄糖不是培养基中的唯一营养。另一种营养是柠檬酸盐（与使柠檬有酸味的物质有关）。培养基中含有大量柠檬酸盐，但大肠杆菌通常不能利用它，至少在含有氧的水中无法利用它（而伦斯基的烧瓶的培养液中含有氧）。但是，只要有一个突变“发现”了如何利用柠檬酸盐，一座粮仓就会在它面前打开。这正是Ara-3菌落中发生的事。这个菌落，只有这个菌落，突然拥有了“既吃柠檬酸盐又吃葡萄糖”的能力；而不需单单依靠葡萄糖了。于是，在每个后继烧瓶中的“可用食物量”，就迅速抬高了。于是，每个后继烧瓶中的菌口每天实现稳定的高台，也就迅速抬高了。

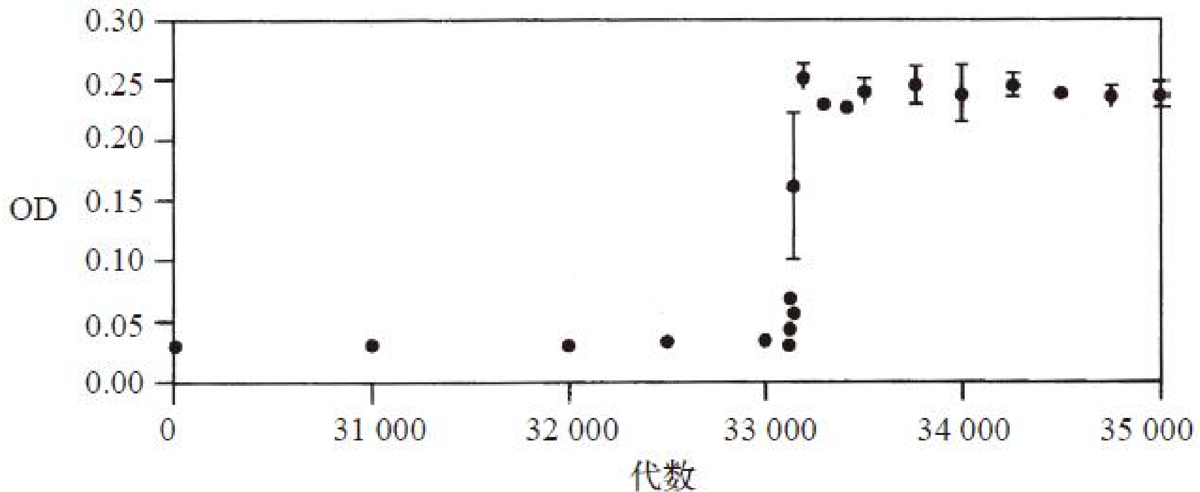


图18 伦斯基实验：菌口密度

在发现了Ara-3菌落的独特之处后，伦斯基及其同事接着思考一个更有趣的问题。这种吸取养料能力的突然改进，都是因为一个单一的（戏剧性）突变吗？是一个罕见的，只在12支菌落中的一支才有幸发生的突变吗？换句话说，它只是另一种“一步性突变”——就像我们在图17中所表现的那种小步突变吗？在伦斯基看来，这似乎不大可能——基于一个有趣的原因。根据这些细菌的基因组中平均每个基因的突变率，他计算出：3万代，已足以让12支中的每一支的每一个基因都突变一次了。因此，似乎不太可能是由于突变的稀有性让Ara-3脱颖而出的。其他的某几个菌落，也应该作出这种“发现”。

还有另一种理论上的可能性，一个极其诱人的可能性。在这里，故事开始变得非常复杂，所以，如果现在已是深夜，你最好还是明天再继续阅读吧……

如果这种变得能摄食柠檬酸盐的“生化魔术”需要不止一个基因突变，而是两个（或三个）基因突变，又将如何？我们现在所谈论的，不是建立在“简单加法式的突变”基础上的两个突变。如果是“简单加法”的话，那么两个突变谁先谁后，就无关紧要了；这样的话，任何一个突变都会把你带到半途，而且每一个突变都会以其本身

的能力从柠檬酸盐中得到营养；只是小于两个突变联合起来吸取营养的能力而已。这将等同于我们已经讨论过的“导致菌体尺寸增加的突变”。但是，这种旧式突变是屡见不鲜的，并不能解释Ara-3菌落的独特性。所以，肯定不是旧式的突变！柠檬酸盐代谢的罕见性，暗示了我们正在寻找的东西，更像是神创论者所宣传的“不可约简的复杂性”（irreducible complexity）。可能有一种生化通路——其中，一个化学反应的产物为第二个化学反应的发生提供了条件；而单独的一个化学反应则不可能产生任何影响。这将需要两个突变（暂且称它们为A和B）来催化两个反应。根据这一假说，在实现任何改善之前，都需要有两个突变；这种事情发生的概率确实很小——这足以解释为什么我们所观察到的12个菌落中，只有一个菌落取得了这一成就。

这些都是假设。那么伦斯基团队可以通过实验查明究竟发生了什么吗？嗯，他们可以聪明地利用冰冻的“化石”，从而在这个方向取得很大进展——冰冻的化石不断地为本研究提供了方便。重复一下，这个假设认为，在一个未知的时刻，菌落Ara-3偶然发生了一次突变——突变A。这次突变没有产生可以检测到的效果，因为仍然缺乏另一个必要的突变（B）。突变B同样可能发生在12支系中的任何一个支系中。事实上，它可能的确发生了。但是，单单有B是没有用的——完全没有任何有益的效果——除非菌落已发生突变A。而碰巧只有菌落Ara-3具有这样的先决条件。

伦斯基甚至可以把自己的假说表达为一个可验证的预测——有趣的是，虽然从某种意义上来说这是对过去的一个预测，但是它确实是一个预测。如果我是伦斯基，我将作如下的预测：

> 我将解冻取自Ara-3菌落的化石，战略性地选择不同的时间点“回到过去”。然后，这些“拉萨路克隆”(注)中的每一支都被允许进一步发生演化，其方式和主实验相似——当然，它们和主实验完全隔离。现在，我的预测如下：只要从原本的进化实验中某

个特殊、关键的世代，解冻了关键的“化石记录”，这些“拉萨路克隆”就仍会“发现”如何处理柠檬酸盐。我们不知道是哪一个世代，但是我们运用后见之明将可以找出这个神奇的世代（根据我们的假说，这个世代就是发生突变A的那个世代）。

你会很高兴听到，这正是伦斯基的学生扎卡里·布朗特（Zachary Blount）的发现。他进行了艰苦的实验，涉及约40万亿的各代大肠杆菌细胞。结果发现，“神奇时刻”发生在大约2万代的时候。从2万代之后解冻的Ara-3化石所发生的克隆，表明它们已经增加了后继演变出吸收柠檬酸盐能力的概率。而2万代前的克隆，则未表现出这样的增加。根据猜想，在第2万代之后，这些克隆已经做好了准备，只要发生突变B，它们就可以善加利用。而一旦这些化石的“复活节”晚于2万代这个奇迹时刻之后，其可能性就不再增加和减小了：2万代之后，无论布朗特对哪一代进行采样、解冻，这些化石后继获得吸收柠檬酸盐能力的可能性，就保持不变了。但是，从2万代之前解冻的化石，其发展出吸收柠檬酸盐能力的可能性则完全没有增加。第2万代之前的Ara-3菌落，就像所有其他菌落一样。虽然其成员属于Ara-3菌落，但它们并不具备突变A。但是，第2万代以后，Ara-3菌落已经“成熟”；在突变B发生的时候，只有它们能够利用“突变B”的优势——B可能在其他几个菌落也出现了，但却没有发生好的效果。在科研上有一些时刻会给人带来巨大的喜悦，这就是其中之一。

伦斯基的研究显示，在微观世界和在实验室中，许多自然选择进化的基本组成大大加快了，所以，它就发生在我们眼前：随机突变之后非随机的自然选择；以独立开展的路线发生的对相同环境的适应；建立在前驱突变基础上的后继突变已产生进化性改变的这种方式；一些基因的效果实现要依靠另一些基因的存在。通常演化所需的时间很漫长，但上述演化的发生却只用了很短的时间。

关于这一个科学事业的胜利故事，有一部滑稽的“续集”。神创论者憎恨这一实验。它不仅表现了演化在行动，而且表现了新信息进入基因组而无“设计师”的干预，这都是他们被告知要否定其可能性的东西（“被告知”，是因为他们大多数不明白“信息”是什么意思），它不仅证明了自然选择有力量把一些基因组合放在一起（而根据神创论者最爱的幼稚计算，这几乎是不可能的），而且也损害了他们的“不可约简的复杂性”这一核心教条。因此，这也难怪他们被伦斯基的实验打乱了阵脚，从而急于找到其中的破绽。

安德鲁·施拉夫利（Andrew Schlafly）是一位神创论者，也是“保守百科”（Conservapedia）网站的编辑。这个网站很恶劣地模仿了维基百科。他写信给伦斯基博士，要求取得他的原始数据，想必这表明施拉夫利对实验的真实性有一些怀疑。伦斯基绝对没有义务来回复这个不恰当的要求，但他回复了，态度非常绅士。他委婉地建议，施拉夫利在批评之前，能够认真读一读他的论文。伦斯基继续说，他最好的数据存储在冷冻的细菌培养皿中，原则上，任何人都可以检查，以验证他的结论。他会很乐意给任何有资格处理它们的细菌学家提供样本，因为让不合格的人来处理它们可能是非常危险的。伦斯基无情地详细列出了这些条件，几乎可以想象到他这样做时津津有味的样子，他十分清楚施拉夫利（一名律师）根本不是科学家，恐怕连这些回复中的字儿都认不全，更不用说以细菌学家的资格，来妥善开展先进和安全的实验步骤，并对结果进行统计分析。著名科学博客blogwit的博主PZ·迈尔斯（PZ Myers）尖锐地总结了这件事，开篇就说：“理查德·伦斯基又一次回答了保守百科的那些疯子和白痴，好家伙，他怎么就从来不把他们逐出课堂呢？”

伦斯基的实验，特别是巧妙的“造化石”的技术，显示了自然选择的力量能够在“短于我们一生”这种时间尺度上，造成进化性改变——就在我们的眼前。但细菌提供了其他令人印象深刻的，可能我们还没有研究透彻的例子。许多菌株在短得惊人的时间内，已经演化出

了对抗生素的抗性。毕竟，直到最近的第二次世界大战期间，第一种抗生素（青霉素）才被弗洛里（Florey）和钱恩（Chain）英勇地、传奇性地开发出来。从那时起，新的抗生素就被频繁地推出来，而细菌也开始演化，对每一种抗生素都产生了抗性。如今，最不祥的例子是耐甲氧西林金黄色葡萄球菌（MRSA：methycillin-resistant *Staphylococcus aureus*），它已成功地使许多医院成为真正危险的造访地。另一个威胁是“难辨梭状芽孢杆菌”（*C.diff.*，即 *Clostridium difficile*）。在这种情况下，自然选择同样有利于对抗生素产生了抗药性的菌株，但该效果被另一个效果所覆盖——长期使用抗生素，往往在杀死坏细菌的同时，把好的肠道细菌也一并杀死。*C.diff.*对大多数抗生素都有抗性，而缺失本可与它竞争的其他细菌，又大大有助于*C.diff.*。这个原则就是：“敌人的敌人是朋友。”

我在医生的候诊室读到的一本小册子警告说“不完成抗生素药物疗程，是危险的”，这令我略感不快。这个警告没有错，是它给出的原因令我担心。这本小册子解释，细菌是“聪明的”，它们会“学习”怎么应对抗生素。

大概作者认为，把“对抗生素产生抗性的现象”称为“学习”而不是“自然选择”，更有利于读者的理解和把握。但说细菌是“聪明的”和“会学习的”，是彻头彻尾的乱讲，首先，它不能帮助病人理解“坚持服药直到疗程结束”的医嘱。任何人都能看出来，说“细菌是聪明的”，这是不可信的。即使有“聪明的细菌”，“过早停药”难道会造成一个聪明细菌的学习能力有差异吗？但只要你开始按照自然选择的路数来思考，这就完全合理了。

像任何毒药一样，抗生素要依赖剂量而起作用。足够高的剂量，会杀死所有的细菌。足够低的剂量，无法杀死任何细菌。中间剂量会杀死一些细菌，但不是所有的细菌。如果细菌之中有基因的变异，例如，面对抗生素有些细菌比其他细菌更易感，中间剂量恰恰有利于选

拔抗药的基因。当医生告诉你“服完我所开的药”，这是在增加杀死所有细菌的机会，避免留下具有抗性或半抗性的突变株。我们可以做事后诸葛亮，说“只要我们都得到更好的达尔文思想教育，我们就会及早醒悟选出抗药菌株的危险”。我的医生的候诊室所放的那种小册子，无助于开展这种教育——他们错过了一个教授人们“自然选择具有奇妙力量”的机会，真是太可惜了。

---

1. 这并不是没有理由的比喻，事实上，蘑菇实现扩圈式生长，完全是依靠同样的“魔环”。

2. 你还记得那条最符合1925—1958年象牙长度下降数据的直线吗？我解释说这个做法等同于：在所有可能的直线中，寻找满足图上的点到直线距离的平方和最小的直线。但这样的做法可以不局限于直线。你可以看一下所有可能的被数学家定义为同一类型的所有可能的曲线。二次曲线就是这样一类曲线。在这种情况下，我们可以依次评估所有可能的二次曲线，测量图上每一点到曲线的距离，然后将其所有距离的平方和相加。对所有的二次曲线采取同样的做法，然后选择其和最小的二次曲线。伦斯基采取了一种捷径，等效于上述费时费力的操作，可以得出最适合的曲线，这就是本图中你看到的曲线。

3. 我们可以在某些生物身上预见一个阶梯状的进化模式，如大多数时候并不进行有性繁殖的细菌。在像我们人类这样进行有性繁殖的动物中，进化通常并不是在“闲晃”中等待关键突变的出现（这其实是那些假装精明的进化论反对者们常犯的错误）。相反地，有性繁殖种群通常有一个遗传变异的现成储备库可供选择。任何时刻在基因库中都存有大量的遗传性变异，虽然这些变异都是由过去的突变而来，但它们是由前期突变引入并通过有性生殖不断地重组而产生的。自然选择往往表现为对现有变异的平衡控制，而不是等待关键突变的发生。而不需要有性繁殖的细菌，不适用基因库的概念。这就是为什么我们能切实期望在细菌中看到非连续的进化步骤，但却无法在鸟类、哺乳动物和鱼类种群中看到。

4. 拉萨路（Lazarus）：圣经人物，被耶稣从坟墓中唤醒复活，见《圣经·约翰福音》。——译者注。

孔雀鱼

我的同事约翰·恩德勒（John Endler）博士，最近从北美转到了埃克塞特大学（University of Exeter），他向我讲述了下面的一段奇遇——不仅是奇遇，也是令人郁闷的故事。他乘坐美国某国内航班的时候，和邻座乘客交谈；该乘客问他，你是做什么的？恩德勒回答说，自己是一名生物学教授，研究在特立尼达和多巴哥（Trinidad and Tobago）的野生孔雀鱼种群。该男子对他的研究越来越感兴趣，问了很多问题。这位乘客着迷于这一实验的优雅理论基础，于是，他问恩德勒这一理论是什么，谁是它的创始人？直到这时，恩德勒才抛下了他意料中的重磅炸弹：“它被称为达尔文的通过自然选择的进化论！”那人立刻神情大变，脸唰地就红了，突然他转过头去，再也不说一句话，终止了此前一直很亲切的交谈。事实上，不仅仅是“亲切的交谈”而已：恩德勒博士写信告诉我，这位男子问了一些出色的问题，这表明在此之前，他是热情而理智地跟随着恩德勒的论述的。这真是悲剧。

约翰·恩德勒向这位“思想封闭的乘客”所讲的“优雅而简单的实验”，可以很漂亮地说明自然选择“做工”的速度。自然，我应该在这里使用恩德勒本人的研究，因为他也是《野外的自然选择》（*Natural Selection in the Wild*）一书的作者，该书收集了此类研究的例子、提出了研究方法，是这一领域的领先著作。

孔雀鱼是广受欢迎的淡水观赏鱼。孔雀鱼和我们第三章中见到的野鸡一样，都是雄性色彩亮丽，胜过雌性；而水族馆的培育，令它们变得更加美丽。恩德勒研究了生活在特立尼达、多巴哥和委内瑞拉山涧中的野生孔雀鱼（*Poecilia reticulata*）。他注意到，当地种群彼

此之间有惊人的不同。在一些种群中，成年雄性是彩虹色的，几乎和在水族箱中饲养的雄性一样亮丽。他推测，它们的祖先已被雌性孔雀鱼对“鲜艳的色彩”进行了选择，其方式与雌孔雀选择雄孔雀的方式相同。在其他地区的雄性孔雀鱼，颜色比较暗淡，但亮丽程度仍然高于雌性孔雀鱼。这些雄性孔雀鱼像雌性孔雀鱼一样，生有近似于溪流底部的砾石的伪装图案，只是程度上较弱。通过对委内瑞拉和特立尼达之间许多地点的情况进行“简练的定量比较”，恩德勒发现：亮丽程度低的雄性，其所在溪流存在严重的捕食情况；而在只有微弱捕食情况的溪流中，雄性鱼更鲜艳，斑点也较大、较多，更加绚丽浮华——这里的雄性可自由地发展出鲜艳的色彩，以吸引雌性。雌性的色彩偏好对雄性造成压力，使它们演变出鲜艳的色彩，这种情况是一直存在的，在各个分离的种群中都存在；无论是否有当地的天敌（或强或弱地）向另一个方向来推动（此事）。同往常的情况一样，进化在各项选择压力之间找到了一个妥协。孔雀鱼的有趣之处是：恩德勒实际上可以看到在不同的溪流之中，这种妥协如何呈现为不同的情况。但他做得远比这个更好——他接着付诸实验。

假如你想用理想的实验，证明伪装的演变，你会怎么做？伪装的动物，其花纹往往同它们所处的背景相像。你能建立一个实验，让其中的动物在你眼前发生演变，变得像你提供给它们的实验背景吗？最好是设置两个背景，放入的种群也不同？我们的目标是像第三章中那样，选育两系玉米植株，一系含油量高，一系含油量低。但是，在这些实验中，选择者将不是人类，而是孔雀鱼捕食者和雌性孔雀鱼。这两个实验的唯一区别是——我们将提供不同的背景。

把一些伪装物种（也许是一种昆虫）的动物个体，随机分配进不同的圈养场地（笼子或罩子、池塘等任何合适的圈养场），圈养场地具有不同的颜色或图案、背景。例如，你可能会给一半的圈养场涂上绿色森林背景，而另一半涂上红褐色沙漠背景。把动物放入了绿色圈养场或者红褐色圈养场中之后，你就让它们在其中生活、繁殖——在

你允许的实验时间内，繁育很多代。在这之后，你会回来，看它们是否已经演化到像它们的背景——绿色或红褐色。

当然，你只有把捕食者也放到了圈养场中，才能期望看到这样的结果。那么，让我们放一只变色龙？放到所有的圈养场中？不，当然不是。请记住，这是一个实验，所以你应该在半数的绿色圈养场中放入变色龙，也在半数的红褐色圈养场中放入变色龙。实验将检验这样一种预测——在有捕食者的圈养场中，昆虫将演化成为绿色或红褐色——与它们的背景更相似。但在没有捕食者的圈养场中，它们如果有任何演化的话，应该是变得与它们的背景不同——目的是突出自己在雌性眼中的形象。

我一直雄心勃勃地打算用果蝇来做这种实验（因为它们的生殖周期是如此之短），但是，唉，我从来没有付诸实施。所以，我特别高兴地告诉大家，约翰·恩德勒恰恰做到了这一点。但他用的不是昆虫，而是孔雀鱼。自然，他也没有使用变色龙作为捕食者，而是选择了一种被称为派克鲷（*Crenicichla alta*）的鱼来作为捕食者，派克鲷是孔雀鱼危险的野外天敌。他也没有使用绿色与红褐色的背景，而是选择了比这更有趣的东西。他注意到，孔雀鱼的伪装往往来自身上的斑点（往往是相当大的斑点），图案类似其原生溪流的底部砾石的图案。一些溪流底部粗糙，多卵石、砾石，还有一些溪流有更细小的石头。这就是他所用的两个背景——必须承认，他所找到的这种伪装，要比我设想的绿色与红褐色更为巧妙。

恩德勒找了一个大温室，用于模拟孔雀鱼生活的热带环境，里面设了10个池塘。他把砾石放入所有10个池塘的底部，但其中5个池塘放入粗砾石，其他5个池塘放入细砂石。接下来我们就会看到这是怎么回事。据预测，当暴露在强烈的捕食环境中，两种背景中的孔雀鱼会随着进化的时间而彼此偏离，在各自方向匹配其自身的背景。而在捕食

弱或不存在捕食的池塘，其预测是，雄性应趋向于变得色彩更加突出，以取悦雌性。

恩德勒没有简单地在一半的池塘中放入天敌，而另一半不放天敌——他又一次作出了更巧妙的安排。他安排了三个层次的捕食。其中有两个池塘（一个细砂石池塘、一个粗砾石池塘）中完全没有天敌。4个池塘（两个细砂石池塘、两个粗砾石池塘）中有危险的派克鲷。在余下的4个池塘，恩德勒放入了另一种鱼——哈氏溪鳉（*Rivulus hartii*），尽管它的英文名称为Killifish（不过这个名字无关紧要，因为它是以某位Kille先生的名字命名的），但它对孔雀鱼相对无害。这是一个“弱捕食者”，而派克鲷是一个“强捕食者”。相比于完全没有捕食者的情况，弱捕食的情况是更好的对照组。恩德勒解释说，这是因为他试图模拟两个自然条件，他知道没有“完全不存在捕食者的自然溪流”，而强捕食和弱捕食之间的对比，可以构成更加自然的比较。

所以，设置如下：孔雀鱼被随机分配到10个池塘——5个粗砾石池塘和5个细砂石池塘。所有的10组孔雀鱼移民，被允许在没有捕食者存在的情况下，自由繁殖成长6个月。在6个月之后，实验才真正开始——恩德勒往两个粗砾石的池塘和两个细砂石池塘中分别投入了一个“危险的捕食者”。然后向两个粗砾石池塘和两个细砂石池塘中各自放入了6个“弱捕食者”（不止一个，这是为了更接近于这两种鱼在野外的相对密度）。而剩下的两个池塘，则还像以前一样过和平的日子，完全没有引入捕食者。

实验进行5个月后，恩德勒普查了所有的池塘，他对所有池塘中的所有孔雀鱼的斑点进行了计数和测量。又过了9个月后（即在共计14个月后），他又进行了一次普查，以同样的方式计算和测量。结果是什么？虽然时间很短，但结果依然非常引人注意。恩德勒用了各种方法来测量鱼身上的彩色图案，其中之一是“每条鱼身上的斑点数”。在

引入捕食者之前，当孔雀鱼被放入池塘时，斑点数目的范围非常大，从斑点极多的到斑点极少的都有——因为鱼是从聚集了各种捕食者的各种溪流中捕获的。在引入捕食者之前的6个月，鱼的个体平均斑点数飞速上升。想必这是在回应雌鱼的选择。然后，在引入天敌捕食者之后，发生了一个戏剧性的变化。在具有危险天敌的4个池塘内，鱼的平均斑点数锐减。在第5个月的鱼口普查中，差异充分显现；到了第14个月的鱼口普查时，斑点数已进一步下降。但在没有天敌的两个池塘和仅有弱捕食者的4个池塘中，鱼身斑点的数量继续增加。早在第5个月的普查时，它们的斑点数量就已达到了高台期，并在第14个月的普查时保持这种高位。与斑点的数量相比，“弱捕食”似乎和“无捕食”区别不大，都被（偏爱许多斑点的）雌性进行的性选择压倒了。

关于斑点数量，就讲这么多。斑点的大小还说明了一件同样有趣的事。在天敌存在的情况下（无论是强还是弱），粗砾石的池塘鼓励相对较大的斑点，而细砂石池塘则青睐相对小的斑点。这很容易理解为“斑点的大小是在模仿石头的大小”。很有趣！然而，在那些没有天敌的池塘，恩德勒发现，结果刚好相反。——细砂石池塘青睐有大斑点的雄孔雀鱼，而粗砾石的池塘则青睐有小斑点的雄孔雀鱼。在这种情况下，如果雄孔雀鱼不模仿石头，它们就会在各自的背景中更加突出，而这有利于吸引雌性——漂亮！

是的，漂亮的实验。但是，这是在实验室中。在野外，恩德勒可以得到类似的结果吗？可以。他前往一条存在危险的派克鲷的自然溪流，这条溪中的雄孔雀鱼相对而言都不显眼。他捕捉了雌雄两性的孔雀鱼，把它们投放到同一溪流的一条支流中——那里没有孔雀鱼，也没有其他危险的捕食者（虽然有弱捕食者哈氏溪鳉）。他把这些孔雀鱼放到那里，让它们在那里生存和繁殖，然后他就离开了。23个月后，他返回来，重新检查了孔雀鱼，看一看发生了什么事。令人惊讶的是，不到两年后，雄性鱼就明显地向更鲜艳的方向演变——毫无疑

问是被雌性鱼牵引的，并且在缺失危险的捕食者的情况下，雄鱼可以自由地向这个方向发展。

科学的好处之一是，它是一种公共活动。科学家既公布他们的结论，又公布他们的方法，这意味着：在世界任何地方的任何人，都可以重复他们的工作。如果他们没有得到相同的结果，我们就会好奇原因何在。他们通常不只是重复以前的工作，而会进一步贯彻、进一步发挥。约翰·恩德勒对孔雀鱼的杰出研究，就在迫切地召唤人们继续和扩大研究。这项研究的后继者之一，就是加州大学河滨分校的戴维·列兹尼克（David Reznick）。

恩德勒在溪流中采样并取得了这样惊人的成果。9年后，列兹尼克及其同事们再次造访了“恩德勒的旧地”，并且对其实验种群的后代又一次进行了采样。现在，雄性孔雀鱼的色彩已非常鲜艳。恩德勒观察到的雌性驱动的趋势仍在继续——迅猛地继续。而这还不是全部。你还记得第三章讲银狐的时候，对某一性状（驯服性）的人工选择，最终如何导致了其他一系列性状的出现吧？包括繁殖季节的变化，耳朵、尾巴、毛色和其他性状的变化。对！在自然选择之下，孔雀鱼身上发生了类似的事情。

列兹尼克和恩德勒已经注意到，当你比较“充斥捕食者的溪流中的孔雀鱼”和“只有弱捕食者的溪流中的孔雀鱼”，它们颜色的差异，仅是全部差异的冰山一角。它们还有一整套其他方面的差异！来自低捕食度溪流的孔雀鱼，达到性成熟的时间要晚于高捕食度溪流中的孔雀鱼，而且它们长成成鱼的时候，个头更大，它们繁殖的频率较低；而且每群新生小鱼的规模也较小，但小鱼的体形较大。当列兹尼克检查了恩德勒的孔雀鱼的后裔，他的调查结果真是好得令人难以置信。那些从捕食者驱动的选择中解放出来，从而被雌性驱动的性选择所改变的雄性孔雀鱼，不仅变得更加鲜艳了，而且在我刚才列出的所有其他方面，这些鱼已经发生了完整的一系列演变，变得像通常见于

无天敌环境中野生种群的个体。它们的成熟年龄也晚于有捕食者出没的溪流中的孔雀鱼，它们个头更大、产仔较少、后代个体较大。池中的平衡，已经偏向于无天敌池塘的常态——性吸引力优先。按照进化的标准，这一切的发生都惊人地快。在本书的后面，我们将看到，恩德勒和列兹尼克所见证的被纯粹的自然选择所驱动的进化变化，其快速前进的速度，可以媲美家养动物人工选择取得的速度（严格地说，自然选择包括性选择）。它是一个在我们眼前的进化的精彩实例。

我们了解到演化有一个令人吃惊的方面——它可以非常快（正如我们在本章所看到的），也可以非常慢——我们从化石记录中得知，在某些情况下，进化的速度很慢。堪称“慢中之慢”的，是被我们称为“活化石”的生物。它们并非真的像“伦斯基的冷冻细菌”一样，是起死回生的物种。但它们是自远祖以来，改变得非常小的物种，几乎就像活化石一样。

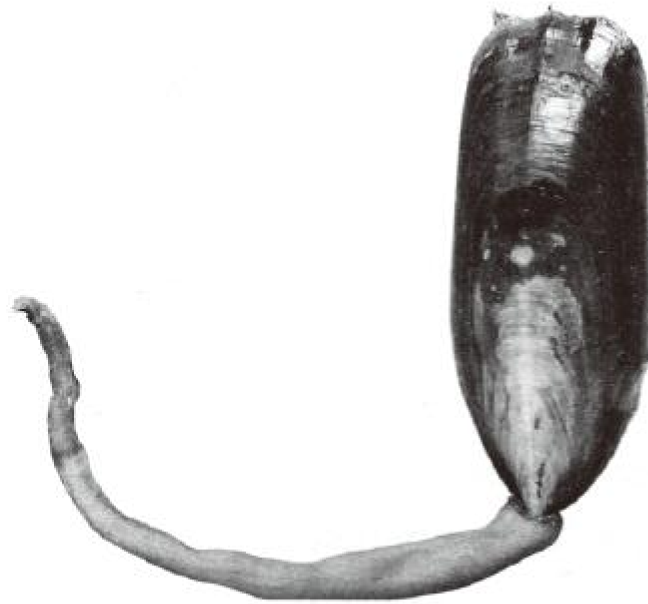


图19 海豆芽

我最喜欢的“活化石”是腕足类海生生物海豆芽（*Lingula*）。你不需要知道腕足动物是什么。如果在2.5亿年前（历史上最灾难性的灭

绝——二叠纪大灭绝之前），就已经有“海鲜餐馆大繁荣”的话，海豆芽一定会是菜单上的主菜。乍一看，你可能会把它们与双壳类软体动物（贻贝之类）相混淆——但是，两者真的很不同。海豆芽的两个壳是盖和底，而贻贝的壳是左和右。美国生物学家斯蒂芬·杰伊·古尔德（Stephen Jay Gould）说得很好：在进化史上，双壳类和腕足类，就好像在黑夜中互相错过的两艘船。一些腕足类从“大灭绝”（仍是古尔德的说法）中幸存了下来，而现代海豆芽（图19）和小舌形贝属（图20）是如此相似，以至于该化石最初被发现的时候，被归入了同一个属名——海豆芽属（*Lingula*）。这个具体的小舌形贝标本可以追溯到4.5亿年前的奥陶纪。但也有最初被命名为海豆芽的化石（现在已知是小舌形贝）可追溯到5000万年前的寒武纪。然而，我必须承认，化石贝壳没有什么好谈的了，并且一些动物学家质疑海豆芽是几乎完全不变的“活化石”这种说法。

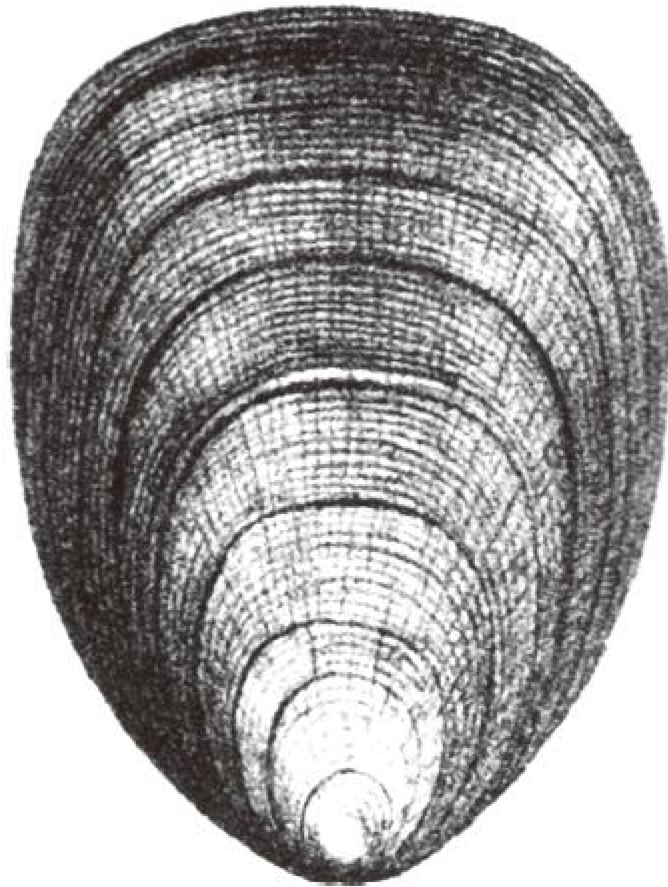


图20 小舌形贝属（Lingulella）和它的现代亲属几乎完全相同

我们在进行进化论证的时候，所遇到的许多问题，都是因为动物们太不体贴我们了——它们是以不同的速度进化的，甚至非常不体贴地根本不进化。如果有一个自然法则规定“进化变化的程度必须始终和经历的时间成正比”，那么，生物之间的相似程度将忠实地反映亲缘关系的远近。然而，在现实世界中，我们必须应对鸟类这种进化的短跑健将，它们飞快地脱离了待在中生代的灰尘中的爬行类祖先——它们是得到了某个天降灾变的帮助，该灾变杀死了在进化树上与它们相邻的生物。而在另一个极端，是我们必须应对的“活化石”如海豆芽，它们在某些极端情况下，改变是那么的微小，以至于如果有一台牵线搭桥的时间机器，可以让它们和它们的远祖相会，两者几乎肯定可以交配、繁衍。

海豆芽不是唯一著名的“活化石”例子。其他著名的活化石，包括鲎（马蹄“蟹”）和腔棘鱼，我们将在下一章讨论。

第六章 缺失的环节？你说的“缺失”是什么意思？

神创论者深深地迷恋化石记录，因为他们不断地（被彼此教授）一遍又一遍地重复一个满口是“缺失”的咒语：“给我看你的‘中间型’！”他们（非常）天真地想象这些“缺失”会令进化论者尴尬。实际上，拥有任何一种化石就已经很幸运了，更不用说我们现在确实拥有大量化石可以证明进化史——以任何标准来看，这些庞大数量的化石都能构成漂亮的“中间型”。我将在第九章和第十章再重点强调——我们不需要化石来证明“进化是事实”。即使没有一个尸骸曾经变成化石，进化的证据也是完全确定无疑的。我们的确有丰富的衔接性化石，而且每天还在发现更多的化石——这是锦上添花。在许多主要动物门类的进化中，化石证据是非常强大的。不过，当然还是有一些缺失，而这令神创论者如获至宝。

让我们再次用“大侦探勘查没有目击证人的犯罪现场”来类比。男爵被枪杀了。指纹、脚印、手枪上汗渍的DNA和充分的作案动机，都指向管家。这是一起相当明显的案件，陪审团和法庭上所有人都确信是管家干的。但在最后时刻，发现了一个细微证据——就在陪审团准备退席、“有罪判决”似乎不可避免的紧要关头，有人想起男爵为了防贼安装了监控摄像头，于是大家屏住呼吸，在法庭上观看录像。其中一段显示管家在储藏室打开抽屉、拿出手枪、装弹，然后不怀好意地悄悄溜出房间，目露凶光。你可能会认为，这更坐实了对管家的指控。可是管家的辩护律师借机指出，在案发地点（书房）没有监控摄像头，在通往储藏室的走廊上也没有摄像头。他以律师独有的引人注

意的方式摇着手指："该视频录像存在空白，我们不知道在管家离开储藏室后发生了什么，对于我方当事人的指控，明显证据不足。"

控方律师徒劳地指出，还有一段台球室的监控录像，通过打开的门看到，管家已经持枪在手，正踮起脚尖慢慢沿着走廊走向书房。能确定这些片段填补了刚刚录像的空白吗？能确定对管家的指控是无懈可击了吗？不。辩护律师得意地打出自己的王牌："我们不知道在管家穿过台球室这扇开着的门之前，或之后发生了什么。这个录像中有两处空白。各位陪审员，本人就案情陈述完毕。现在，控告我方当事人的证据比之前更少了。"

就像谋杀案中的监控摄像头一样，化石记录是一种额外的"佐证"，我们无权把它看作应得之物。即使没有这个监控录像，也已经有足够的证据给管家定罪。在发现这个监控摄像头之前，审判团也已打算作出有罪判决。同理，在对现代物种（第十章）及其地理分布（第九章）的比较研究中，我们有足够的证据证明进化论是事实，我们不需要化石——没有化石，进化的事实依然无懈可击。所以，把化石记录中的空白当作反对进化的证据，是一种诡辩。就像我说的，我们居然还拥有化石，这真是很幸运！

何等证据，才能驳倒进化？最强大的证据，莫过于发现哪怕一块化石出现在错误的地质层。这一点，我已经在第四章讲过。当被问及如何定义一个反驳进化论的现象时，英国遗传学家霍尔丹的著名驳斥就是："寒武系之前的兔子化石！"可是我们还从来没有发现过这样的兔子，从来都没有发现过真正不合时代的任何化石。实际上，我们目前已经拥有的极其大量的化石，都是以正确的时间顺序出现的，无一例外。当然，还有一些环节，根本没有发现任何化石，而这是意料之中的。另一方面，任何一个化石在"进化出来之前"当然不可能被发现，这是一个非常雄辩的事实（而依据神创论，我们则没有理由去期待这一事实）。正如我在第四章简要提及的一样，好的科学的理

论，就是很容易被证伪，但却尚未被证伪的理论。进化论正是如此，它可以轻易地、被一个仅仅以错误时序出现的化石所证伪，但是，进化论出色地（高分！）通过了这一考验。妄想证明自己的进化论怀疑者，应该努力俯身在岩石中，拼命寻找不合时代的化石。或许他们会找到一个。要打赌吗？

最大的空白，就是所谓的“寒武纪大爆发”之前的空白，这也是神创论者的最爱。在5亿多年前的寒武纪，绝大部分的动物门（animal phyla，动物界的主要分支）都“突然”出现在化石记录中。“突然出现”在这里是指：据知这些动物群的化石，不见于比寒武纪更古老的岩石中；这并不是“瞬间出现”的意思——我们所说的这个时间段，跨越了两千万年，其实并不算“突然”。“两千万年”相对于“5亿年”来说，感觉很短；但是对进化来说，这当然代表着与今天的“两千万年”完全相同的时间段！不管怎么说，这还是很突然，而且，正如我之前另一本书中所说的，寒武纪给我们展现了：

> **大量的主要动物门**“第一次出现时，就已经是进化的高级阶段了。好像它们就是被安置在那里，没有经历任何进化的历史。不用说，这种突然出现，让神创论者很高兴”。

最后一句表明，我已经足够精明地意识到，神创论者会喜欢寒武纪大爆发。过去（1986年）我还不能精明地意识到，他们会兴高采烈地、一遍又一遍地以他们喜欢的方式，断章取义地引用我的语录，以此来反击我。我心血来潮地在互联网上搜索“好像它们就是被安置在那里，没有经历任何进化的历史”，得到不下1250条结果。为了进行一项粗略的对照实验，验证我的假设（即这些命中结果大多反映了神创论者的引用），作为对比，我尝试检索《盲眼钟表匠》中紧接上述引文的句子——“然而，形形色色的进化论者都相信，这确实代表了在化石记录中有一个很大的空缺”。就这一句，我总共只搜到了63个

结果，和之前的1250个结果比起来，1250和63的比率是19.8，我们可以把这个比率称为“引用挖掘指数”。

我已经详尽地描述了寒武纪大爆发，特别是在《解析彩虹》注（*Unweaving the Rainbow*）这本书里。在这里，我仅仅添加一个新的论据，用扁形虫（扁形动物门）来作说明。这个大的蠕虫动物门包括寄生性的吸虫和绦虫，具有很重要的医学价值。但我还是最喜欢自由生活的涡虫纲动物。涡虫纲有超过4000个物种——这个数量，约等于“哺乳动物的物种总数”。一些涡虫相当漂亮，如图21所示。无论是在水里还是陆地上，它们都很常见。据推测，它们应该已经存在很长时间了。因此，你可能以为我们会看到一段丰富的化石历史。不幸的是——几乎什么都没有。除了少数不清晰的化石遗迹外，几乎没有发现任何扁形虫的化石。扁形动物门（即蠕虫）“第一次出现时，就已经处在进化的高级阶段了。好像它们就是被安插在那里的，没有经历任何进化的历史”。但如果是这样的话，“它们的第一次出现”就不是寒武纪，而是今天。你能看出这其中的意思吗，或这至少应该对神创论者意味着什么吧？神创论者认为，扁形虫和其他所有生物都是在同一周里出现的。因此，它们拥有同样的时间来形成化石，和其他所有动物完全一样；在这么多世纪中，当所有的有骨类和贝壳类动物一直在数以千计地沉积成化石时，扁形虫一定正快乐地生活在它们周围，但却没有在岩层中留下任何它们存在过的痕迹。虽然根据神创论者的观点，扁形虫曾和其他动物一样存在了同样长的时间，但扁形虫的历史仍构成了一段很大的空白；那么，形成化石的动物，其历史中出现空白，又有什么大不了的？如果寒武系大爆发之前的空白，能被用作大部分物种突然出现在寒武系的证据，那么同样的“逻辑”也应该可以用来证明：扁形虫是昨天才突然出现的。而这一点，却又与神创论者提出的“扁形虫与其他所有生物是在同一周被创造出来的”这一论点互相矛盾了。你不能两者兼得。这种道理，一击之下，完全摧毁了神创论者“寒武系前化石记录的空白，削弱了进化的证据”这一观点。

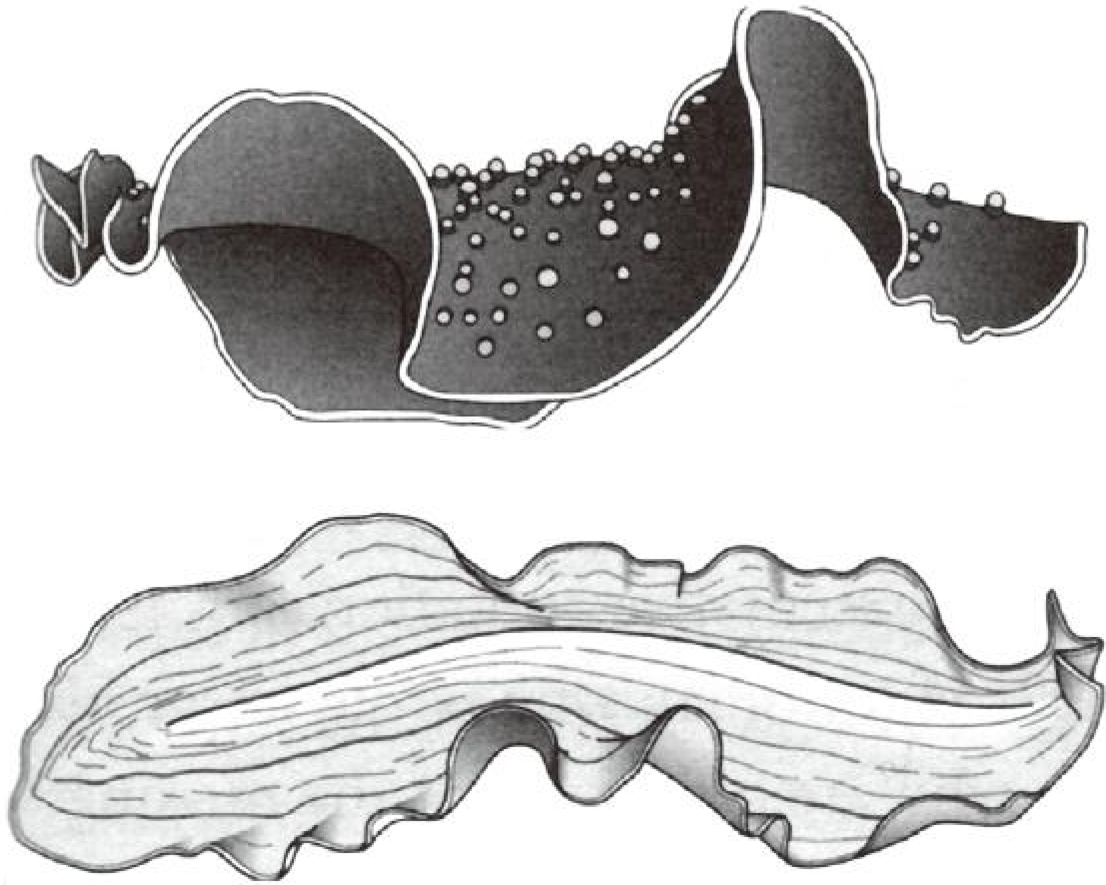


图21 涡虫——没有化石记录，但它们一定一直都是存在的

根据进化的观点，为什么在寒武系之前化石那么少？好吧，据推测，伴随扁形虫经历整个地质年代直到今天的各项因素，也同样作用于寒武系前动物界的其他种群。也许，寒武系前的大部分生物都像现代扁形虫那样是软体的，也可能同时像现代涡虫一样小——确实不是形成化石的好材料。然后，5亿年前发生了一些事情——硬化或矿化骨骼的兴起——使得动物能够大量地形成化石。

“缺环”是对“化石记录中的空缺环节”的较早说法。在维多利亚时代晚期的英国，这一短语非常流行，并且持续到20世纪。受到一种对达尔文理论的误解的唆使，这个说法曾被认为是一种侮辱，类似于今天通俗（和不公正的）说法中的“尼安德特人”

（Neanderthal）。这个词在《牛津英语词典》中的代表性例证，是1930年劳伦斯（D.H. Lawerence）说的，一位女士写信来说他的名字“臭名远扬”（stank），并且说：“你是缺环和黑猩猩的杂交体。”

我要告诉你，这种表达的最初含义是令人困惑的，它暗示了达尔文理论缺少一个把人类和其他灵长类相连的重要环节。在词典里，还有另外一句维多利亚时代的例证：“我曾听说过人类和puggies（puggie是苏格兰方言，猴子的意思）之间的一些缺环。”直到今天，历史否认者们仍然喜欢用一种（他们认为的）嘲讽口气说：“但是，你们还是没有找到缺环。”他们总是抛出“皮尔丹人”（Piltdown Man）来好好嘲笑一番。没人知道是谁制造了“皮尔丹骗局”——许多人都有嫌疑(注)。“最早发现的猿人化石之一，最终被证实是一个骗局”这一事实，给历史否认者提供了一个借口，使得他们无视那些大量存在的*并非骗局的化石*，而且他们迄今仍在不停地吹嘘这一点。只要他们看一看事实，就会很快发现，我们现在可以提供大量中间型化石，将现代人类和我们与黑猩猩的共祖联系起来。这是站在人类的这一边来看问题的。有趣的是，尚未发现将共祖（既非黑猩猩，也非人）和现代黑猩猩相连的化石。可能是因为黑猩猩生活在森林中，这种环境不能提供形成化石的良好条件。如果说谁有权力抱怨“缺环”的话，那也应该是黑猩猩，而不是人类！

因此，“缺环”的第一种意思，即所谓的“人类和动物界其他动物之间的差距”。轻描淡写地说吧，这种意义上的“缺环”，已不再缺失。我将在下一章专门讨论人类化石，届时会再回到这个话题。

“缺环”的另一种意思，是指主要类群之间的所谓“过渡型态”的缺乏：比如，所谓在爬行类和鸟类之间、鱼类和两栖类之间“缺乏过渡型态”。每当面对“拿出你们的中间型！”这种质问时，进化论者们总是抛出始祖鸟化石（*Archaeopteryx*）——介于爬行类和鸟类之间的著名“中间型”，以此回应历史否认者的挑衅。这是错误的，我

将会演示说明。始祖鸟根本就不是答案，因为这种挑衅根本就不值得回答。根本就不值得用始祖鸟这样著名的化石，来应对一个谬论。实际上，对大量化石而言，我们完全可以说，其中每一个都是某一物种和另外一种的中间型。用始祖鸟来回答所谓的挑衅，是基于一个过时的概念，即我们过去所说的“存在之巨链”（the Great Chain of Being）。我将在本章后面再论述此话题。

这种“缺环”类挑衅之中，最愚蠢的是下面两个（或者说，是它们的很多种变体）。第一个是：“如果人类的进化是经过鱼和青蛙，起源于猴子，那么在化石记录里怎么没有‘蛙猴’？”我曾经看到过伊斯兰神创论者粗暴地问：“为什么没有‘鳄鸭’？”第二个是：“如果一只猴子能够生出一个人类婴儿，我就相信进化论。”第二个问题和其他问题犯的是同样的错误。此外，错上加错的是，它还认为主要的进化变化发生在一夜之间。

碰巧的是，这两个谬论，接连出现在伦敦《星期日泰晤士报》一篇文章之后的一长串评论里，这篇文章是关于达尔文的一个电视纪录片的，我摘录如下：

> 道金斯对于宗教的观点是荒谬的，因为进化论本身就是一种宗教——你必须相信我们都来自一个单细胞……蛇可以变成猴子，等等。哈哈——这是最可笑的宗教！
>
> 乔伊斯（Joyce）于英国沃里克郡（Warwickshire）

> 道金斯应该解释为什么科学不能找到缺环，信奉没有根据的科学要比信奉上帝更像童话。
>
> 鲍勃（Bob）于美国拉斯韦加斯（Las Vegas）

本章将处理所有这些类似的谬论。我将从最愚蠢的谬论开始分析，因为这个答案可以引出其他的答案。

---

1. 见《解析彩虹》，李虎译，中信出版社，2017年3月。——编者注

2. 人们大多怀疑这是业余古生物学家查尔斯·道森（Charles Dawson）所制造的，但有趣的是斯蒂芬·杰伊·古尔德提出另一种猜测：这可能是皮埃尔·德日进（Pierre Teilhard de Chardin）做的。你可能认出德日进是耶稣会神学家，他后来所写的《人类的表象》（*The Phenomenon of Man*）一书得到了有史以来最严重的负面评价——来自伟大的英国科学家彼得·梅达沃（Peter Medawar）［重印于其著作《溶解的艺术》（*The Art of the Soluble*）和《柏拉图的理想国》（Pluto’s Republic）中］。

“给我看鳄鸭！”

“为什么化石记录里没有蛙猴？”好吧，猴子当然不是来源于青蛙。没有哪个理智的进化论者会说鸭子源于鳄鱼，或鳄鱼源于鸭子。猴子和青蛙有共祖，这个祖先看起来当然既不像青蛙，也不像猴子。它看起来可能有点像蝾螈，而且在对应的时代，我们确实有类似蝾螈的化石。但这不是重点。千千万万的动物物种，任意两种，都有一个共同的祖种。如果你对于进化论的理解是这样的扭曲，以至于你会认为我们应该可以看到蛙猴、鳄鸭，那么你也应该讽刺怎么没有狗河马、象猩。实际上，为什么要把自己仅仅局限在哺乳动物中？为什么不是“袋蟑”或者“章豹”（前者是袋鼠和蟑螂之间的中间型，后者是章鱼和豹之间的中间型）？你可以通过这样的组合方式想出无数的“中间型”动物名称(注)。当然，河马不是起源于狗的，狗也不是起源于河马。黑猩猩不是起源于大象，反之亦然。就像猴子不是起源于青蛙一样，没有任何一种现代物种，是起源于现代的任何其他物种（如果我们忽略掉近期的物种分离）。就像你可以找到近似于“青蛙和猴子的共祖”的化石，你也可以找到近似于“大象和黑猩猩的共祖”的化石。这里有一个被称为“始祖兽”（*Eomaia*）的生物，生活在1亿多年前的早白垩世。

如图22所示，始祖兽既不像黑猩猩也不像大象。始祖兽看起来大致像一只“鼩鼱”，可能现代的鼩鼱和它们的共同祖先相当类似，而且你会发现，很多进化性变化同时发生在“从始祖兽型祖先到大象后裔”和“从始祖兽型祖先到黑猩猩后裔”这两条路线上。但在任何意义上，这都不是“象猩”。如果真有“象猩”的话，那么象猩也得兼任“狗海牛”，因为大象和黑猩猩的共祖，也是狗和海牛的共祖，同

理，它还同时是豚马（土豚和河马的共同祖先）。狗海牛（或者象猩、豚马、袋蟑、水牛狮）的观点绝非进化的观点，而是荒唐的观点。蛙猴也一样，而传播这类愚民观念的肇事者——澳大利亚的游方传教士约翰·麦基（John Mackay）假装成“地质学家”，于2008和2009年间，游走于英国的学校，告诉那些天真的孩子，如果进化是真的，那么化石记录里应该有“蛙猴”。

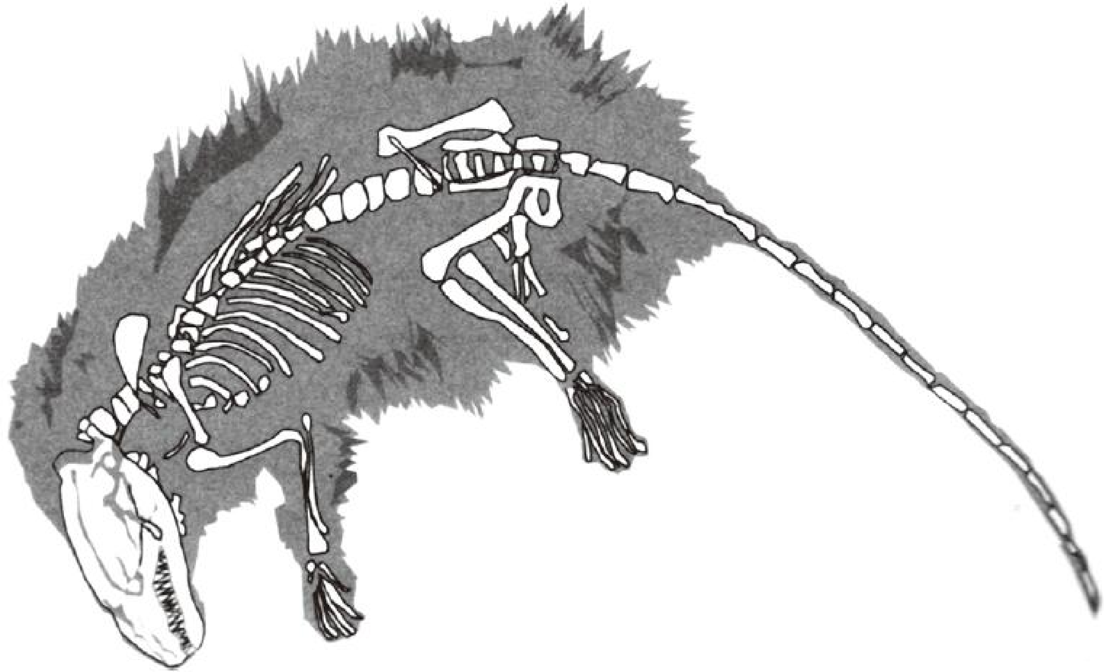


图22 始祖兽

还有一个同样可笑的例子，就是穆斯林护教士哈伦·叶海雅（Harun Yahya）插图华美但愚蠢无知的鸿篇巨制《创世图谱》（*Atlas of Creation*）。这本书显然是斥巨资出版的，更令人震惊的是这本书竟然免费发放给成千上万科学教师，也包括我。尽管这本书的出版花费了巨额经费，但里面的谬论仍然堪称经典。为了证明“大部分古化石和其对应的现代物种没有区别”这一错误观点，叶海雅把海蛇当作“鳗鱼”（两种很不相同的动物，分属于脊椎动物门的不同纲），把海星当作“海蛇尾”（实际上两者分属于棘皮动物门的不同纲），把管虫（环节动物）当作“海百合”（棘皮动物，两者虽然都

是动物，但不仅仅分属于不同的动物门，还属于不同的动物亚界，亲缘关系非常远），最离谱的是，他把一只鱼饵当作“毛翅蝇”。

但是除了这些被盲目推崇的搞笑观点外，该书有一章是关于“缺环”的。有一张图被认真地印在书上，来说明“没有鱼和海星的中间型”这样一个“事实”。真令我难以相信，作者怎么会严肃地以为，进化论学者可以在海星和鱼这两种差别这么大的动物之间找到中间型。于是，我不得不怀疑——他实在太了解自己的读者了，故意且可笑地利用他们的无知。

---

1. 我这里采用的是“infinite”（无数的）普通的、往往被滥用的一个含义——表示“非常非常大”的意思。实际数量是每一个物种和其他物种配对组合的数量——这个数量是趋近于无数的，与无数没有什么实际区别！

“如果一只猴子能够生出一名人类婴儿，我就相信进化论”

重申一遍，人不是起源于猴子。我们只是和猴子有着共同的祖先。而这个共祖恰好看起来更像猴子，而不像人。如果我们在大约2500万年前见到它，我们确实可能会叫它“猴子”。但是，即便人类是从一个“多半会被我们称为猴的祖先”进化而来的，也没有一种动物可以立刻生出一个新物种，或者说，至少一种动物不可能生出一个和自己差别大到“人与猴”程度的新物种，或差别大到“人与黑猩猩”程度的新物种。这不是“进化”的含义。“进化”不仅仅事实上是一个渐进过程；而且如果“进化”要具有解释力的话，它也必须是渐进的。在一次传代中跨过巨大的鸿沟（让猴子生下一名人类婴儿）几乎就像神创一样不可能，并且这两种观点不成立是因为同样的原因——在统计学上不可能。如果反对进化论的人，能花一点点精力学习他们所反对的最最基本的东西，那就太好了。

“存在之巨链”的贻害

人们对“缺环”的荒谬苛求，大多是基于一个中世纪的神话，直到达尔文所处的时代，这一神话仍旧占据着男人们的头脑，并在之后顽固地困扰着他们。这就是“存在之巨链”的神话，根据这个理论，宇宙中的万物呈一个阶梯状的链式排列，上帝位于顶端，然后是大天使、其他各级天使、人类、动物、植物，再接下来是石头和其他无生命事物。鉴于这类观点盛行于“种族主义是人的第二属性”的久远年代，我似乎不需要再赘述该观点还认为“人类也是有差别的，并非都位于同一阶层”。当然喽，男性应该稳居于其同类（女性）之上——这也是为什么我在本节开篇的第一句话中，可以大胆放言“占据着男人们的头脑”。但是这个所谓的动物界中的等级结构，对进化思想有巨大的混淆力。依照这种想法，似乎可以很自然地认为：“低等”动物可以进化成“高等”动物。如果是这样的话，我们可以期望在这个梯子的上上下下看到它们之间的“连环”。一个有很多“缺环”的阶梯是缺乏说服力的。在很多基于“缺环”的怀疑论思想背后，就隐藏着这么一部“残缺的梯子”。但是，我将表明，有关阶梯的整个神话完全是人们的一种误解，而且它是不符合进化的。

我们总是能随口地说出“高等动物”和“低等动物”这样的字眼，但事实上这类观念并非人们认为的恰好符合进化思想，恰恰相反，这类观念在过去和现在都是和进化思想深深对立的——意识到这一点令我们非常震惊。我们认为自己知道黑猩猩是高等动物，而蚯蚓是低等的，我们认为自己知道这些意味着什么，并认为进化论让这种等级更加清晰，但实际并非如此。这种等级划分是完全没有任何意义

的，或者说，如果有什么意义，也只意味着它会带来大量误导甚至危害的各种观念。

当你说猴子要比蚯蚓“高级”的时候，或多或少地可能会造成令人明显感到困惑的观念，例如下面列出的这些。

1.“**猴子是由蚯蚓进化来的。**”这是错误的，就像说“人类是由黑猩猩进化来的”一样错误。正确的说法是：猴子和蚯蚓拥有共祖。

2.“**猴子和蚯蚓的共祖和猴子相比，更像蚯蚓。**”是的，这个可能更有道理。如果你把蚯蚓定义为“类似于祖先”，你甚至可以在半精确的意义上，使用“原始”一词。很明显，从这方面来讲，一些现代动物要比另一些现代动物更原始。如果思考其准确的意思，那就是从其共祖衍生的两个物种中，有一个物种的变化程度较小（若我们追溯到足够远的年代，所有物种，无一例外地都拥有一个共祖）。如果这两个物种中的某一个并没有比另一个发生重大的变化，就不应在对比两者的时候使用“原始”一词。

很有必要在这里暂停一下，提一个相关观点——要衡量相似度其实很难。而且，在任何情况下，都没有必然的理由认为两种有共祖的现代动物，其中一种比另一种更像其共祖。你随便举出两种动物，比如鲱鱼和鱿鱼，可能它们其中之一更像共祖，但并不是说必然如此。它们自祖先那儿分道扬镳的时间一样长，所以进化论者可以自然而然地认为“现代动物中，没有哪一种比其他任何一种更原始”。我们可能会认为：两种动物自共祖分化而出之后，因进化而改变的程度相同，但方向不同。事实上，这种推想往往并不符合事实（从“猴子和蚯蚓”的例子就可以看到），并且也没有什么必然理由支持我们做这样的推想。而且，动物身体的不同部分也并不是以同样速率发生演化的。一种动物可能腰部以下还很原始，但腰部以上却高度进化。更严

肃地说，一种动物可能神经系统比较原始，而另一种可能是骨架较原始。尤其要注意，从“类似于祖先”这个意义上讲，“简单”（复杂性低）未必意味着“原始”。马脚要比人脚更简单（比如说，马脚只有一个蹄而不是五个脚趾），但是人脚却更原始（我们和马的共祖同我们一样，有五个脚趾，所以马改变得更多）。这将引导我们进入困惑观念列表中的下一项。

3.**“猴子比蚯蚓更聪明（或者说更漂亮、有更大的基因组、更复杂的体轴等）。”**当你试图用科学加以解释时，就会发现这种关于动物的偏见真是一团糟。我提出这一条，是因为它太容易与其他意义混淆了，而解决困惑的最好办法就是暴露它。你可以想出很多种方法对动物进行评级，不仅仅是我提到的4种方法。在某一种生物链里级别高的动物，在另一种生物链里的级别可能高，也可能不高。哺乳动物的大脑当然大于蝾螈目动物的大脑，但是它们的基因组却小于某些蝾螈的基因组。

4.**“猴子比蚯蚓更像人类。”**对于猴子和蚯蚓的这一对儿具体例子来说，这么说是无可辩驳的。但那又如何？我们为什么要选择人类作为标准，去评判其他生物？愤愤不平的水蛭可能会说：蚯蚓的伟大特性在于它比人类更像水蛭。虽然“存在之巨链”传统上把人类排在动物和天使之间，认为**进化的目标**在某种程度上就是**人类**，或者说人类是进化的“终极”——但这在进化上并没有任何理论支持。可奇怪的是，这种自命不凡的假设非常普遍地径自向前、自我推进。最粗鲁的就是，你会遇到无所不在的挑剔提问：“如果黑猩猩变成了我们，为什么还有黑猩猩？”我已经提到过这一点了，并且我是认真的，我一次又一次地、一再遇到这个问题，有时候提问者甚至是一些显然受过良好教育的人(注)。

5.**“猴子（和其他的‘高等’动物）的生存能力高过蚯蚓（和其他的‘低等’动物）。”**这么说毫无道理，甚至根本不是实情。所有现存的物种，都至少活到了今天。一些猴类（如金色

> 绢毛猴）正濒临灭绝。它们的生存能力就弱于蚯蚓。老鼠和蟑螂繁荣昌盛，尽管很多人认为，老鼠和蟑螂要比大猩猩和猩猩这些濒临灭绝的动物低等。

我希望我所说的这些足以表明，用一个阶梯理论来评价现代物种是多么荒唐（就像你所说的“高等”和“低等”一样明显很荒唐），并且，我也说明了这个理论是多么彻底地“反进化”。你可以想象无数的阶梯，有时把某些物种单独归类于某一阶梯是说得过去的，但是这些阶梯互相不一致，而且其中的任何一个都没有资格被称为“进化的标杆”。我们已经看到了，历史曾诱导产生过诸如“为什么没有蛙猴”这种肤浅的误解：但是，“存在之巨链”的贻害，也提出了“主要生物群之间的中间型在哪儿”这样的疑问，甚至，丢脸的是，它让进化论者只能翻出特定的化石——始祖鸟（介于爬行类和鸟类之间的著名“中间型”）来应对这类疑问。此外，还有别的东西隐藏在始祖鸟谬误之下，并具有普遍意义；因此，我会用几个段落，将始祖鸟作为一般情况中的一个特例作出说明。

传统上，动物学家将脊椎动物门划分为几个纲（主要的分类），命名为如“哺乳纲”、“鸟纲”、“爬行纲”和“两栖纲”。被称为“支序分类学家”[注]的一些动物学家，认为恰当的分类法应该把拥有共祖的物种归为一类，不遗漏任何一个后裔。鸟纲[注]就是一个很好的例子。所有的鸟类都来自一个共同的、也被称作“鸟”的祖先，而且和现代鸟也有共同的关键特征——羽毛、翅膀、喙等。从这个意义上讲，那些被统称为“爬行纲”的动物，并不构成一个良好的分类纲。因为至少从传统分类法来说，该类别明显不包含鸟类（它们自成一纲），然而，从常识来看，一些爬行类（如鳄鱼和恐龙）的亲缘更接近鸟类，而远离另一些爬行类（如蜥蜴和海龟）。实际上，某些恐龙和鸟类的亲缘关系更近，和另一些恐龙的关系则更疏远。“爬行纲”是一个人为的分类界元——因为鸟纲是被“人为地”排除在外的。严

格意义上来讲，如果我们把爬行纲作为一个真正的“自然纲”，就应该把鸟纲也包括在内。倾向于严格分类的动物学家，会避免统称这类动物为“爬行纲”，而是将它们分为古蜥类（鳄鱼、恐龙和鸟类）、鳞龙超目（蛇、蜥蜴和新西兰珍稀的斑点楔齿蜥）和龟鳖目（海龟和乌龟）。非严格分类的动物学家却很乐意用“爬行纲”一词概括之，因为他们发现这种方式描述起来很方便，尽管它确实人为地排除了鸟纲。

那么，是什么诱使我们将鸟类从爬行纲中分出去呢？从进化角度来说，鸟类只是爬行纲的一个分支，它们何德何能，要被授予“纲”的地位呢？原因是这样的：生活在鸟类周围的爬行动物（鸟类在“进化树”上的近邻们）碰巧都灭绝了，唯独鸟类存活了下来。和鸟类关系最近的，都是灭绝已久的恐龙中的某些种类。如果品种繁多的恐龙家系存活下来，鸟类就不会这样突显，从而在脊椎动物门里升级成一个纲了。我们也就不会提出任何像“爬行类和鸟类之间的‘缺环’在哪里”这样的问题。始祖鸟仍将是博物馆里一块漂亮的化石，但它将不可能再作为一个“俗套的答案”（一位“领衔主演”的角色），被用来回答这个（现在我们已经明白）没有意义的挑衅——“拿出你们的中间型”。如果灭绝的种类有所不同，那么现在的大地上将奔跑着许多种恐龙，包括一些被称为“鸟”的带羽、会飞、有喙的恐龙。实际上，人们正在越来越多地发现带羽毛的恐龙化石，所以人们也已更加清楚地知道，根本没有任何“给出缺环！”这类重大的挑战，需要用“始祖鸟”作回答。

现在，让我们继续探讨进化中的某些主要“过渡”，据说在这些地方，有些“环节”缺失了。

---

1. “受过良好教育”这个词组，令我想起彼得·梅达沃以“别有用心的敏锐”观察到：“中学以及更高级的大专教育的普及，培养了一大批人，他们通常具有很好的文学与学术品位，但其分析、思考的能力远远落后于其受教育程度。”这样的教育还有价值

可言吗？这段话让我想冲到街上去与人分享——任何人都行，因为这段话写得太好了，令人不忍私藏。

2. “cladists”（支序分类学家）来自术语“clade”（支序，意思是“被认为是从一个共祖进化而来的所有后裔构成的一群生物”）。

3. 至少根据动物学家的共识，为了讨论的方便，我应继续把鸟纲作为一个良好类别的例子。最近的化石研究展现了一些带有羽毛的恐龙化石，如有好的证据，人们也可以提出“我们称之为鸟类的现代动物中的某些，其祖先有可能与其他鸟类不同，是另一群的带羽恐龙”的观点。如果所有的现代鸟类的近祖被证明没有归到鸟类，我将不得不修改我关于鸟纲是一个良好类别的观点。

生命来自大海

如果没有火箭登上太空这回事儿，很难想象还有比“离开水，到干燥的陆地”更勇敢，或者更改变生存命运的事情。这两种生活空间在太多的方面截然不同，离开一个到另一个，几乎需要对身体的所有组成部分做根本性的改变。鳃是擅长在水中取氧的器官，在空气中却一点用也没有，而肺到了水中也是毫无用处。在水中高效优雅的运动方法，在陆地上却是危险笨拙的，反之亦然。难怪“离水之鱼”和“像一个溺水之人”，都是众所周知的俗语。也难怪在这个领域里的“缺环”格外能引起人们的兴趣。

如果我们追溯得足够远，所有生物都生活在海中——充满咸水的大海，是孕育生命的母校。在进化历史的不同节点，许多不同动物类群中有进取心的个体离开了海洋，登上了陆地，甚至最终定居在干燥的沙漠（在血液和细胞液中还带着它们自己私藏的海水）。除了我们周围所看到的爬行动物、鸟类、哺乳动物和昆虫以外，其他成功脱离了生命的“水子宫”的类群包括：蝎类、蜗牛类、甲壳类（如虱和陆地蟹）、马陆和蜈蚣、蜘蛛及其同类以及至少三个蠕虫类动物门。而且别忘了植物（可利用碳元素的生产者）——没有植物率先侵占陆地，就无法实现其他物种的迁居。

幸运的是，大迁徙的过渡阶段，如“鱼类登陆”被完美地记录在化石中。另一个相反的迁徙过程发生在更久以后，即鲸和儒艮的祖先，离开它们在干燥陆地上来之不易的家园，回到了其发源的海洋。这两种情况中曾经一度缺失的环节，现在已经大量充实在我们的博物馆里，为之增辉。

当我们提到“鱼类登陆”时，必须记住，我们所说的“鱼类”，就像“爬行纲”一样，不属于自然分类界元。这里的“鱼类”是通过排除法定义的——它泛指除了迁徙登陆的脊椎动物之外的所有脊椎动物。因为，脊椎动物的所有早期进化都发生在水里，所以毫不奇怪的是——脊椎动物门中，大部分仍然幸存的分支仍然生活在海里。而我们仍会把很多其他和“鱼”亲缘关系很远的动物叫作“鱼”。鲑鱼和金枪鱼同人的亲缘关系更近，和鲨鱼反而较远，但我们把它们全部叫作“鱼”。肺鱼和腔棘鱼，要比鲑鱼和金枪鱼（当然还有鲨鱼）与人的关系还要近，但是，我们仍然把它们叫作“鱼”。虽然，鲨鱼比八目鳗和七腮鳗（曾经广泛分布，且种类繁多的无颌鱼类中，它们是唯一存活至今的物种）与人的关系更近，我们也还是把它们叫作“鱼”。脊椎动物中，那些祖上从未冒险登陆的种类，看起来都像“鱼”一样，游起来也像鱼一样（不像海豚，海豚是靠脊柱弯曲上下摆动来游动，而不是像鱼一样靠左右摆动来游动），我猜它们吃起来味道也应该像鱼吧。

对于一名进化论者来说，正如我们刚刚看到的“爬行纲和鸟纲”的例子，一个“自然”的动物分类纲目，意味着其成员之间都有较近的亲缘关系，胜过与非其族类的成员的亲缘性。如我们所见，“鸟纲”是一个自然分类界元，因为它们共有一个最近的祖先，和非鸟类的祖先是不同的。依照同样的定义，“鱼类”和“爬行纲”则不是自然分类的纲目。鱼类最近的共祖也是很多非鱼类的共祖。如果把我们的远亲——鲨鱼放在一边，我们哺乳动物，应属于一个包括所有现代硬骨鱼类（这是与软骨鲨鱼相对的概念）的自然纲目。如果我们接着再刨除“鳍刺类鱼”（鲑鱼、鳟鱼、金枪鱼、天使鱼，基本上所有你可能见过的除鲨鱼之外的鱼），我们所属的自然纲目，就应当包括所有陆生脊椎动物再加上所谓的总鳍鱼。我们就是从总鳍鱼中分化出来的，现在必须对其投以特别的关注。

如今，总鳍鱼类就只剩肺鱼和腔棘鱼了（“鱼”的种类虽然“少”了，但是陆地动物数量却大量增加：我们这些陆生脊椎动物就是变异的肺鱼）。它们是“总鳍鱼”，因为它们的鱼鳍像脚，而不像我们熟悉的流线型鳍。实际上，南非生物学家史密斯（J. L. B. Smith）所写的一本关于腔棘鱼的畅销书就定名为《原始四足动物》（*Old Fourlegs*）。1938年，当第一条活的腔棘鱼由一艘南非渔船戏剧性地捕获之后，让腔棘鱼得到了世人关注的正是史密斯，他说：“即使我看到一只恐龙走在大街上，我也不会比见到腔棘鱼更感到惊讶。”在此之前，腔棘鱼就因其化石而闻名。但是，以前人们都认为它们从恐龙时代就灭绝了。史密斯激动地描写了当他第一次将注意力投向这个惊人发现的时刻，该鱼的发现也使他受邀面见该鱼的发现者玛格丽特·拉蒂默（Margaret Latimer，史密斯后来把这种鱼命名为*Latimeria*），要他给出专家意见：

> 我们直接走进博物馆，拉蒂默女士那会儿正好出去了，管理员引领我们走入内室，里面有腔棘鱼，是的，老天！虽然我已有心理准备，但是第一眼看到它，还是让我感到沸腾、灼热、战栗欲倒，我的身体开始发麻。我站在那里，僵硬如石。是的，毫无疑问，那一片片鳞、一根根骨、一个个鱼鳍，就是一条真正的腔棘鱼。它本是2亿年前的生物之一，它复活了！我看了又看，忘了所有其他的事，然后，我心怀敬畏地靠近它、触摸它，而我的妻子则在一旁默默看着。拉蒂默女士走了进来，友好地和我们打招呼。直到这时，我才回过神来，我忘记我是怎么说的了，但大概就是告诉他们：这是真的，这的确是真的，毫无疑问就是腔棘鱼。我毫不怀疑。

腔棘鱼和我们之间的亲缘关系要近于它同其他大部分鱼类之间的亲缘关系。从我们双方的共祖开始，腔棘鱼已经历了某种程度上的变化，但尚不足以脱离“鱼”的范畴，按照渔民的通俗说法，它还是“鱼”。但是它们和肺鱼同我们的亲缘关系更近，绝对近于它们和鲑

鱼、金枪鱼以及大部分鱼类的关系。腔棘鱼和肺鱼都是“活化石”的例子。

然而，我们不是由肺鱼或腔棘鱼演化而来的。我们和肺鱼的共祖，长得更像肺鱼，而不像我们人类。但是，它们也并不很像肺鱼。肺鱼可能是活化石，但它们仍然不是很像我们的祖先。在寻找这些答案的过程中，我们还是要去岩石中寻找真正的化石。我们对泥盆纪以来的化石特别感兴趣，这个时代，是水中生存的鱼类和第一批生活在陆地的脊椎动物的过渡期。即使是在真的化石中，我们希望找到真正祖先的愿望也太过乐观了。然而，我们希望能从中找到足够接近我们祖先的近亲，从而得知祖先大致的模样。

化石记录中最著名的空缺之一，就是醒目得足以被赋予一个专门名称的“罗默空缺”［Rome’s Gap，罗默（A. S. Romer）是美国著名的古生物学家］，这个空缺，可以追溯到3.6亿年前泥盆纪末期至约3.4亿年前的石炭纪早期（成煤期）。经历了“罗默空缺”后，我们就发现了明确的、能爬过沼泽地的两栖类动物（辐射进化而来的各种像蝾螈的动物），其中一些体型庞大，如同鳄鱼，表面上看起来也像鳄鱼。那似乎是一个“大家伙”的时代，因为当时的蜻蜓，其翼展就有我的手臂那么长，是有史以来最大的昆虫[注]。从3.4亿年前开始，我们几乎可以将石炭纪称为“两栖动物时代”，就相当于恐龙在它们的鼎盛时代一样。然而在那之前，则是“罗默空缺”的时代。而在空缺时代之前，罗默只看到鱼类（总鳍鱼类）生活在水里。那么中间型在哪里呢，是什么使它们冒险踏上陆地的呢？

本科时在牛津大学的课堂上，博学的哈罗德·普西（Harold Pusey）的讲座点燃了我的想象力。尽管他的讲授方式干瘪冗长，但他有一种天赋，能穿越干巴巴的骨骼，看到有血有肉的、必然曾在过去世界里谋生的动物[注]。他引起的思考，源自罗默的言论：是什么使总鳍鱼类演化出了肺和腿？这些言论令学生时代的我难以忘怀。而且，

尽管这些言论在现代古生物学家中，已经不像罗默所处的那个时代那么流行，对我来说却仍然很有意义。罗默和普西设想每年都有个干旱期，湖泊、池塘和小溪枯竭，只有等到来年的洪水来临。活在水中的鱼，可能得益于一种暂时在陆地上生存的能力：它们曳地而行，从被干旱威胁的浅湖或池塘迁移到水更深的地方，生存下来，直到下一个雨季的到来。基于这样的观点，我们的祖先很大程度上并不是“登上”干燥的陆地，而是把干燥的陆地作为一个离水后再次入水的临时过渡区，很多现代动物其实都是这样的。

很不幸的是，罗默在介绍他自己的理论时伴有一篇序言，序言的目的，是为了说明“泥盆纪是一个干旱的时期”。因此，当更多近期的证据抨击这一假设时，似乎也就抨击了整个罗默理论。他如果删去这篇序言就好了；但这样又未免太小题大做。就像我在《祖先的故事》中提到的，虽然泥盆纪并不像罗默原先认为的那么干旱，但这个理论仍然有效。

不管怎样，让我们回到化石本身。化石在泥盆纪后期（紧靠着石炭纪之前的时期）时隐时现：这些诱人追寻的“缺环动物”在某种程度上桥接起来总鳍鱼类（大量存在于泥盆纪）和两栖动物（存在于随后的石炭纪沼泽）之间的鸿沟。靠近鱼类一侧的缺环——新翼鱼（*Eusthenopteron*）（图23）是1881年在加拿大的化石收藏中被发现的。这种动物尽管已经有了一些（极具想象力的）初步改造，但是表面上看它似乎仍然是鱼，从未踏上过陆地。然而，它和5000万年后的两栖动物确实已有些相似，包括颅骨、牙齿，最重要的是鱼鳍。其骨骼虽然可能是用来游泳而不是走路的，但仍遵循着四足动物（陆地脊椎动物的统称）的典型模式。其前肢，一根单一的肱骨连接两根骨头——桡骨和尺骨，这两根骨头又连接着大量的小骨头，我们这些四足动物会称之为腕骨、掌骨和手指，其后肢也呈现出类似四足动物后肢的模式。

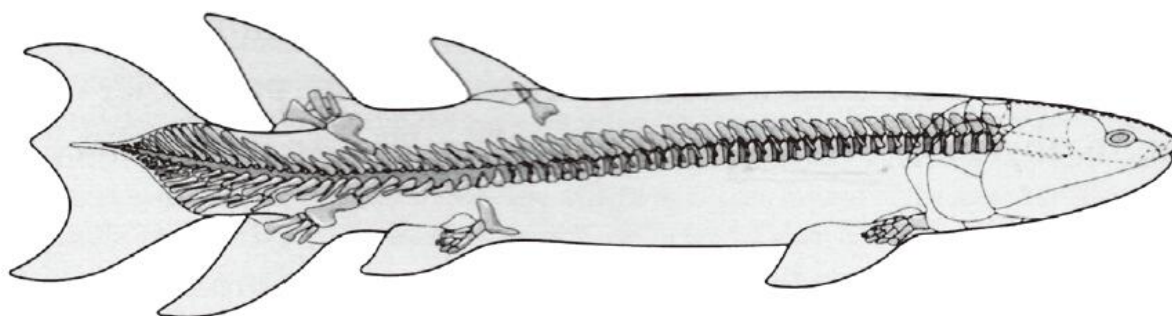


图23 新翼鱼

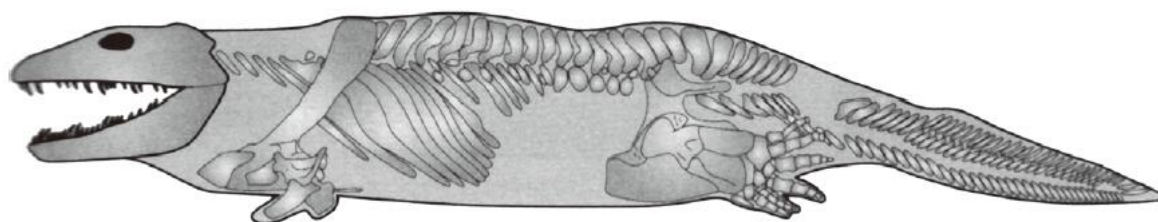


图24 鱼石螈

此外，令人兴奋的是，1932年在格陵兰岛发现了鱼石螈（*Ichthyostega*）（图24），它在空缺中靠近两栖动物一侧，生活在约两千万年之后的泥盆纪和石炭纪的交界期。顺便说一下，不要被“格陵兰又冰又冷”的想法所误导。在鱼石螈的年代，格陵兰岛位于赤道。鱼石螈在1955年被瑞典古生物学家埃里克·加维科（Erik Jarvik）再次发现。而且，与当代专家相比，他把这种动物描绘得更接近陆地生物。对此的最近一次重建，是由珀·阿尔伯格（Per Ahlberg）在加维科曾就读的乌普萨拉大学（University of Uppsala）作出的，他认为鱼石螈大部分的生活都在水中，虽然可能偶尔会登上陆地。尽管如此，它看起来更像一条娃娃鱼，而不是鱼，而且它头骨扁平，这正是两栖动物的特征。不像所有的现代四足动物各肢有5个指或趾（至少是在胚胎时，虽然它们长大后数量可能减少），鱼石螈有7个脚趾。看来，早期的四足动物比我们今天享有更多的自由，可以“试验”不同的趾数。大概在胚胎过程中的某个时候，趾数固定为5个，并采取了难以逆转的步骤。但是，无可否认，这一切并不

困难。个别的猫，甚至人，会有6个指或趾。这些额外的指或趾，可能来自于胚胎时期出现的基因复制错误。

另一个令人振奋的发现，也来自位于热带地区的古格陵兰岛，而且，所发现的这种动物也是生活在泥盆纪和石炭纪的交替期，它就是棘螈（*Acanthostega*）（图25）。棘螈也生有扁平的、两栖动物的头骨和像四足动物一样的四肢；但它有8个趾头，同样偏离我们现在所认为的5指标准，甚至偏得比鱼石螈还要远。我们中最了解它的科学家——剑桥大学的珍妮·克拉克（Jenny Clack）和迈克尔·科茨（Michael Coates）认为：棘螈像鱼石螈一样，主要是水生动物，但它们又有肺和足趾，这些证据强有力地表明，它们必要时可以同时应付陆地和水中生活。而且，它们看起来很像大型蝾螈。再回头说“空缺”中靠近鱼类这边的生物——潘氏鱼（*Panderichthys*）（图26），也是来自泥盆纪晚期，也是比新翼鱼更像两栖动物一点点，进一步地略微远离了鱼类。但是如果你看到它们，你一定还是会把它们称作鱼，而不是蝾螈。

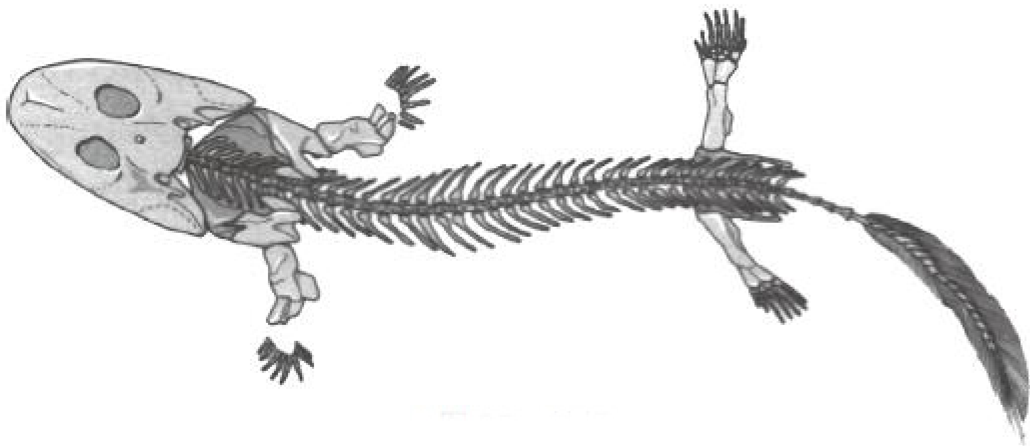


图25 棘螈

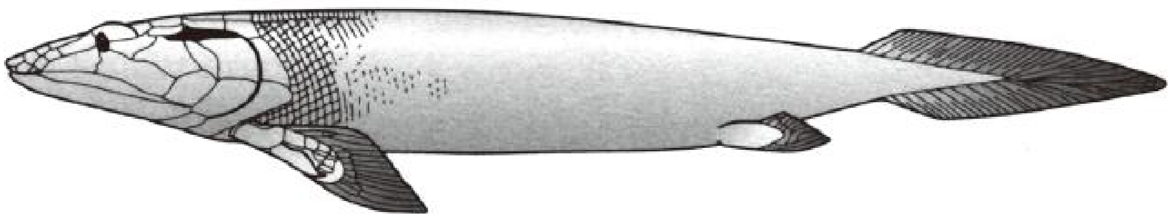


图26 潘氏鱼

因而，我们在潘氏鱼（像两栖动物一样的鱼）和棘螈（像鱼一样的两栖动物）之间，还留有一个空缺。这里的“缺环”又在哪里呢？宾夕法尼亚大学的一个教授团队，包括尼尔·舒宾（Neil Shubin）和爱德华·德斯科勒（Edward Daeschler）都着手想找出这个环节。舒宾将团队成员对人类进化的一系列令人愉快的反思和探寻，写进了《你是怎么来的》（*Your Inner Fish*）这本书。他们慎重地思考哪里是最好的寻宝地，小心翼翼地选择了一块位于加拿大北极地带、曾经正好是泥盆纪晚期的岩石区域。他们去到那里，猎取动物界的“黄金”——提塔利克鱼（*Tiktaalik*）！一个令人过目不忘的名字。这是一个因纽特词，指一种大型淡水鱼。对于其种名*roseae*，让我来说说我自己引以为戒的故事。当我第一次听到这个名字，并且看到像彩页10上那样的照片时，我的脑海里立刻浮现出泥盆纪那“古老的红色砂岩”，与德文郡齐名的颜色、佩特拉古城（Petra）的色彩（“一个玫瑰红的城市，像半阕时光那样古老”）。哎，我错了。照片夸大了玫瑰红的光泽。“*roseae*”这个名字是为了纪念泥盆纪北极探险的一位资助人。在提塔利克鱼被发现后不久，我在费城与德斯科勒博士共进午餐时，被特许参观该鱼，出于毕生研究动物的学者本能——或者说是因为潜藏在我体内的鱼祖宗（my inner fish）——我被感动得哑口无言。通过玫瑰色的眼镜，我想象，我正凝视着我直系祖先的脸。这看起来真是超现实——这块并非玫瑰色的化石，大概非常接近我本想拜见的那位像半阕时光那样古老的已逝祖先。

如果你与一条活的提塔利克鱼狭路相逢，你可能会感觉你好像正受到鳄鱼的威胁，因为它们的脸很像。就像一条鳄鱼的头接着蝾螈的躯干，再接上一条鱼的尾巴。和其他的鱼不一样，提塔利克鱼有脖子，它会转动头部。几乎在每种特定情况下，提塔利克鱼都堪称是完美的“缺环”——完美，是因为它几乎完全就是鱼类和两栖动物的折

中存在；完美，是因为有了它就不再有缺失。我们有化石。你可以看到它，触摸它，试图鉴定它的年代——但不一定能够鉴定出来。

---

1. 顺便说一下，有人提出这类“巨人症”可能是由于当时的空气中氧含量较高。昆虫没有肺，它们通过微小的空气管呼吸，这种空气管遍布全身。空气管不能像血管一样，分布成一个复杂的全面分配系统，这很可能限制了身体的尺寸。在空气中含氧量为35％，高于我们今天的仅21％的情况下，对身体的限制是比较宽泛的。这为巨型蜻蜓的存在提供了一个令人满意的解释，但也未必正确。附带说一下，我很困惑，有这么多的氧气，为什么物体不会时不时地爆炸起火。也许有——森林火灾必然比现在更常见，而化石反映了耐火性高的植物物种。我们不能确定为什么在石炭纪和二叠纪大气中的氧含量会达到峰值。这可能与在地下形成这么多的碳（如煤炭）有关。
2. 他是一位旧式的牛津大学老师，他相信，他的存在就是要教授本科生课程，在今天以研究为主的学校氛围之下，他将无法生存。他几乎没有发表过一篇署名文章，但他所留下的“遗产”，则保留在一代又一代学生的头脑中，这些学生感激他将“智慧”传授给他们，至少他把自己广博的知识教给了那些学生。

我必须再次入海㊟

从水到陆的行动，对生物的各个方面（从呼吸到繁殖）都发起了巨大的改造——从生存空间的角度看，这是一个大冒险。不仅如此，随着一个看似肆意的任性行为，大量完全的陆地动物，后来又放弃了它们努力重造才获得的适应陆地生活的器官，成群地再次回到了水中。海豹和海狮只是部分地回到了海里，因此它们向我们展示了，在向极端情况（如鲸和儒艮）演变的过程中，中间型可能是什么样的。鲸（包括我们称为海豚的小鲸）和儒艮的近亲海牛，都已完全不再是陆地动物，而是完全恢复了它们远祖的海洋习性。它们甚至已不回到岸上进行繁殖。但是，它们还是呼吸空气，没有发展出任何相当于其早期海生祖先的腮的结构。其他从陆地回到水里（至少在某段时期需要回到水里）的动物，包括田螺、水蜘蛛、水甲虫、鳄鱼、水獭、海蛇、水鼩、加拉帕戈斯（Galapagos）弱翅鸬鹚、加拉帕戈斯海鬣蜥、蹼足负鼠（来自南美洲的水生有袋动物）、鸭嘴兽、企鹅和海龟。

长期以来，鲸类的进化蔚然成谜，但近来我们关于鲸类进化的知识，已经相当丰富。分子遗传学证据表明，鲸最近的近亲是河马，然后是猪，再然后是反刍动物（有关这方面证据的性质请见第十章）。更令人惊讶的是，分子证据表明，河马虽然外形更像偶蹄动物（如猪和反刍动物），却与鲸的亲缘关系更近。这是又一个身体相似程度不匹配亲缘关系远近的例子。我们曾经在前面的叙述中遇到过这种情况——有些鱼和我们的亲缘关系要近于它们同其他鱼的亲缘关系。当时所说的情况是：产生这种异常的原因，是我们的族系离开水到了陆地，发生了大幅进化，远离了我们的“鱼类近亲”（肺鱼和腔棘鱼），而我们的鱼类近亲因为和其他鱼一样都生活在水里，所以外表

更像我们的鱼类远亲。现在我们遇到了同样的现象，但方向相反。河马（至少部分地）停留在陆地，因此更像它们居住在陆地的远亲——反刍动物，而与它们关系更近的鲸类，则进入了大海，产生了如此剧烈的改变，以至于鲸类与河马的亲缘关系超出了生物学家的预期（除了分子遗传学家）。正像它们的鱼形远祖曾经进行反方向征程的时候，有点像起飞进入太空，或至少像释放一只气球——鲸的祖先脱离了重力的束缚，自由飘浮，切断了它们与陆地的联系。

同时，一度十分贫乏的鲸类进化的化石记录，已经令人信服地被填充、完善起来。大部分证据是来自巴基斯坦的新发现。不过，鲸化石的故事在近年来出版的其他图书中已被描述得相当详尽，如唐纳德·普洛特罗（Donald Prothero）的《进化：化石记录的阐明及其重要意义》（*Evolution*：*What the Fossils Say and Why it Matters*），还有更近的杰里·科因的《为什么要相信达尔文》，我决定不在这里重复相同的内容。我将转而把我的观点缩略到一个图表中（如图27所示），该图引自普洛特罗的书，显示了按时间顺序排列的一系列化石。请注意绘制该图的细致方式。过去的书都喜欢用一种非常吸引人的方式来绘图：用箭头标明一系列从古老到近代的化石。但没有人能说近代生物是从古老生物进化而来，比如，不能说走鲸（*Ambulocetus*）是来自巴基鲸（*Pakicetus*），或者说龙王鲸（*Basilosaurus*）是来自罗德侯鲸（*Rodhocetus*）。与之不同的是，这个图表遵循着更加谨慎的法则，比如，鲸是与走鲸同时代的某亲缘动物的后裔，可能比较像走鲸（也可能就是走鲸）。展示的化石代表了鲸进化的各个阶段。后腿逐渐消失，前肢从腿转变为游泳的鳍，扁平尾巴变成尾鳍，这些变化都呈现了优雅的梯级递进。

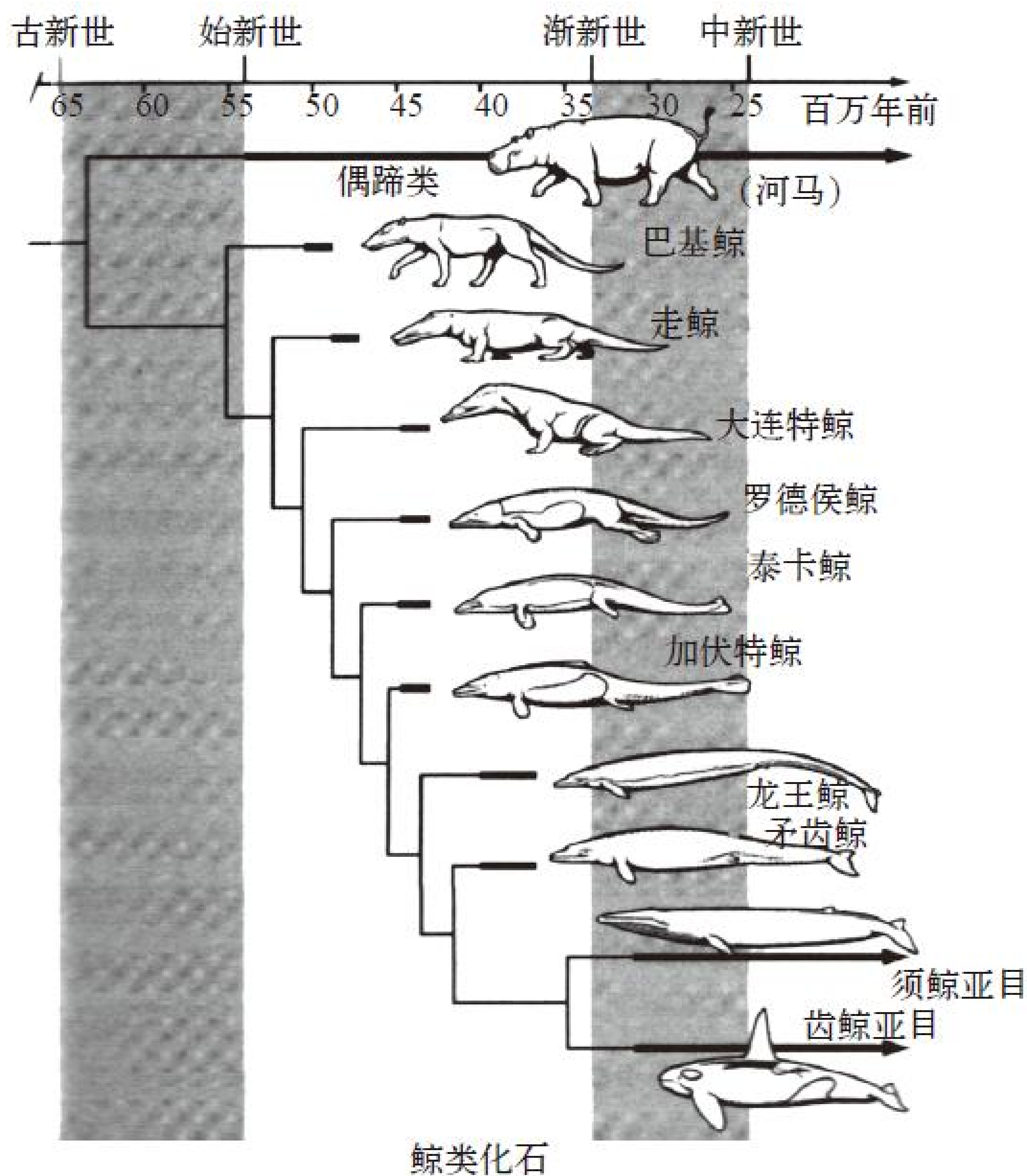


图27 由陆生动物进化成鲸的过程，展示了记录在案的、从非洲和巴基斯坦的始新统岩层中找到的大量过渡性化石。［由卡尔·布依尔（Carl Buell）绘制］

因为在我提到的这些书中，已经很清楚地论述了这一主题，我想说的鲸的化石历史，就到此为止了。海牛目（儒艮和海牛）数量较少、多样性低，但却是另一个完全生活在水中的海洋哺乳动物类群。它们的化石记录不完好，但是，最近发现了它们的一个极好的“缺环”——大约和始新世的走鲸同时代的“走海牛”（*Pezosiren*），其

化石被发现于牙买加。它看起来很像海牛或儒艮，只是它有适合步行的前腿和后腿，而海牛或儒艮前面只有鳍状肢，后面完全没有附肢。下面的这幅图（图28），上部展示的是现代儒艮的骨架，下部是走海牛的骨架。

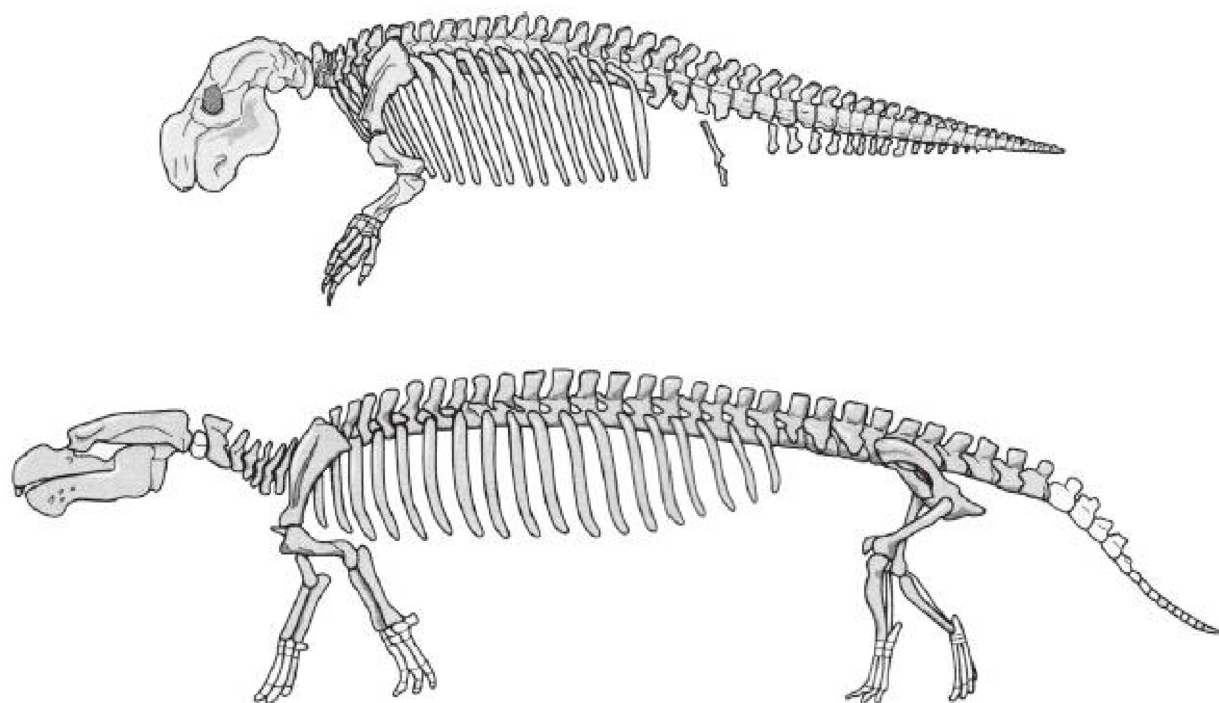


图28 现代儒艮与走海牛（古儒艮）的骨架

就像鲸和河马有亲缘关系一样，海牛目生物和大象有亲缘关系。大量证据（包括所有重要的分子证据）表明，走海牛的生活方式可能犹如河马，大部分时间都在水里，在水底用脚走路和游泳。其头骨绝对是海牛目动物的头骨。走海牛可能是（也可能不是）现代海牛和儒艮真正的祖先，但它无疑能出色地“出演”这一角色。

正当这本书即将付印出版时，从《自然》（*Nature*）杂志传来了激动人心的好消息——在加拿大的北极地带发现了一块新化石，填补了现代海豹、海狮和海象（统称为鳍足类）祖系中的一个空白。这就是达尔文氏海幼兽（*Puijila Darwini*）——一个完整度约为65%的单个骨架，其时代在早中新世（约两千万年前）。这已经非常接近于现

代，当时的世界地图已几乎和现代地图完全一样。所以，这一早期的海象/海狮（它们还没有演化分开）是一种北极动物、冷水中的居民。有证据表明：它们在淡水里生活、捕鱼（像大多数水獭一样，除了著名的加州海獭）而不是在海里（海豹一般生活在海里，除了著名的贝加尔湖海豹）。海幼兽没有鳍肢，但脚上有蹼。它跑起来可能像陆地上的狗，而一点儿也不像现代的鳍足类；但是它大部分时间都生活在水里——游泳的姿势也像狗，而不像现代海豹和海狮分别采用的方式。海幼兽在鳍脚类的祖系中，恰好填补了从陆到水的缺环。这在我们不断丰富的不再缺失的“连环”列表中，添上了令人愉快的一笔。

现在，我想转向另一组从陆地回到水里的动物：这个例子特别有趣，因为它们其中的一些后来又反转了这一过程，又回到了陆地！在一个重要的方面，海龟没有像鲸或儒艮那样完全返回水中——它们仍要在沙滩上产卵。和所有返回水中的脊椎动物一样，龟并没有放弃呼吸空气，但这一类中的某些种类做得比鲸好。这些龟，通过它们尾部直肠两侧的一对血管丰富的薄囊，从水中吸取额外的氧气。实际上，有一种澳大利亚河龟，其大部分氧气都是靠屁股（肛囊）呼吸得到的（澳大利亚人会毫不犹豫地这样说）。

在进一步讨论之前，我无法避免地要讨论一个无聊的名词理解方面的差异，并且被迫认同萧伯纳（George Bernard Shaw）的一个观察结论——“英国和美国是被同一种语言隔开的两个国家”。在英国，海龟（turtles）生活在海里，乌龟（陆龟，tortoises）生活在陆地上，水龟（terrapins）生活在淡水或半咸水里。在美国，所有这些动物都被称为turtles，不管它们生活在陆地还是水中。“陆龟”（landturtle）这种说法，在我听来感觉很奇怪，但对美国人来说却不会。对于他们来说，“陆龟”就是生活在陆地上的这个龟类动物的子集。一些美国人用“tortoise”来在一个严格分类意义上表示陆龟科（testudinidae，这是现代陆龟的学名）。在英国，我们可以把任何居住于陆地上的龟类叫作陆龟，不管它是不是陆龟科成员（我们将

会看到，的确有些生活在陆地上的龟的化石并不是陆龟科的成员）。接下来，我会试着避免这种混淆，体谅英美两国的读者（而澳大利亚的用法又不一样了），但这很困难。这些容易产生理解差异的术语，表述起来真是一团糟。所有这些海龟、陆龟和水龟，动物学家全部用“龟”（chelonians）来指代，不管我们操哪一种英语。

龟最显著的特征就是它们的壳。龟壳是怎样进化出来的，其进化的中间态是什么样的呢？缺失的环节在哪儿？（狂热的神创论者可能会问）那半个外壳的作用是什么呢？好吧，令人兴奋的是，我们发现了一个新的化石，能够很好地回答这些问题。在我不得不把本册书稿交给出版商的最后时刻，它首次出现在《自然》杂志上。这是一块水生龟化石，发现于中国的三叠纪末期的沉积物中，据估计，该化石的年龄为2.2亿年。它被命名为半甲齿龟（*Odontochelys semitestacea*）——顾名思义，它和现代的海龟或陆龟都不同，它有牙齿，甚至还有一半的龟壳，它的尾巴也大大长于现代海龟或陆龟的尾巴。这三个特征，使得它成为我们所寻找的“缺环”的首选。它的腹部由一块壳遮住了，也就是所谓的胸甲，和现在的海龟很像。但是它的背部几乎没有任何保护，即没有所谓的背壳。它的背部大概是柔软的，像蜥蜴的背部一样，尽管沿着中间躯干的上部有一些坚硬的骨块，像鳄鱼一样，这些肋骨是扁平的，好像正在“试图”开始进化形成背壳。

这里有一个有趣的争论。这篇论文的作者李淳、吴晓春、奥利维尔·列佩（Olivier Rieppel）、王立亭和赵丽君（为了方便，我统称他们为中国作者，尽管列佩不是中国人）把半甲齿龟介绍给了世人，认为他们发现的动物的确处于“获得外壳”的进化中途。但其他人则有不同意见，他们不认为半甲齿龟反映了壳是在水中进化得来的。《自然》杂志有一个优良传统，他们会特邀专家（不是作者）为每周最有趣的文章撰写评论，发表在一个叫作“新闻与观点”的栏目中。对半甲齿龟论文的“新闻与观点”评论，出自罗伯特·赖斯（Robert

Reisz）和杰森·黑德（Jason Head）这两位加拿大生物学家，他们作出了（与作者）不同的解释。他们认为，在半甲齿龟祖先回到水中之前，可能整个壳就已经在陆地上进化完成了。又可能半甲齿龟在回到水中之后，失去了它们的背壳。赖斯和黑德指出，今天的一些海龟背壳就大幅减少了，例如大型的棱皮龟，所以他们的理论相当合理。

我需要暂时离题，解释一个简短问题，即“那半个壳的用处是什么”。尤其是，为什么半甲齿龟的护甲生在下方而不是背部？可能是因为下方有敌人的威胁吧，这可能表明这些生物大部分时候在接近水面之处游动；当然，不管怎样，它们仍然要游到水面进行呼吸。今天，鲨鱼往往从水面下方进行攻击，它们是许多半甲齿龟的重要威胁，我们没有理由认为鲨鱼的捕食习惯在那个时代会与今天有所不同。有一个类似的例子，同时也是进化里面最令人惊讶的成就之一——拟渊灯鲑鱼（*Bathylychnops*）的另一对眼睛（见图29）可能就是用于侦测来自下方的袭击的。它们的主眼用于观察远处，同任何普通鱼类的眼睛相同。但是这双主眼的每一只都有另一只小眼嵌于其下，这只小眼也具有完整的晶状体和视网膜。如果说，为了发现来自下方的袭击，拟渊灯鲑鱼可以大费周章地长出另一对眼睛（你知道我的意思，别装傻），那么，半甲齿龟为了抵御来自同样方向（下方）的袭击而长出外壳，似乎也是非常合理的。这个胸甲的存在是有道理的。如果你想说，对，但是为什么不在顶部也长个壳呢？这样就更安全了。答案很简单，龟壳沉重笨拙，其长成和携带都会使个体付出很大代价。在进化过程中，总会有取舍。陆龟们取舍的结果是偏向粗壮、沉重的上下两面的龟壳。而很多海龟取舍的结果是底部生出强壮的胸甲，但是上部的壳则较轻。因此可以比较合理地说：半甲齿龟只是把这一趋势推得更远了一些。

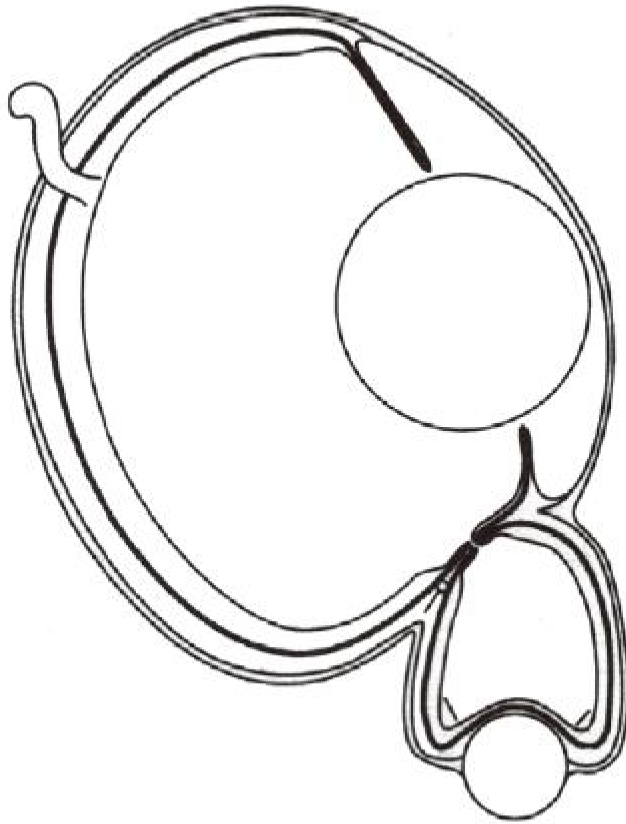


图29 拟渊灯鲑鱼额外的眼睛

另一方面，如果中国作者是对的，半甲齿龟正处于进化形成完整外壳的过程中，且壳是在水中进化形成的，这似乎就是说，“现代有完整外壳的陆龟，起源于水里的海龟”。这在我们看来也可能是对的。但这颇不寻常，因为这意味着，今天的陆龟代表了从水中第二次迁徙登陆的历程。从没有人曾声称，有任何的鲸、儒艮在进入水中后再次返回了陆地。陆龟的另一种（可能的）进化历程是，它们一直都在陆地上，并且和它们水生的亲缘族群一样，平行、独立地进化出了外壳。这也是可能的；但事实上，我们有充分理由认为，的确是海龟第二次回到了陆地，变成了陆龟。

如果以分子证据和其他比较证据为基础，画出所有现代陆龟和海龟的家族谱系，你就会发现几乎所有的分支都是水生的（在图30中用普通字体表示，而陆龟则用黑体表示）。你可以看到，今天的陆龟仍

然只是一个单一的分支。陆龟科，深深地嵌在其他水生海龟的丰富分支里。它们所有的近亲都是水生的。现代陆龟在其他水生海龟的各种分支中，一支独立。它们的水生祖先回到陆地，变成了陆龟。这一事实兼容龟壳是由“半甲齿龟这样的生物在水里进化的”这一猜想。但是现在还有另一个困难——如果你仔细观察那个谱系就会发现，除了陆龟科（所有的现代陆龟）之外，还有两个化石属是全壳动物，分别叫作原颌龟（*Proganochelys*）[注]和晚三叠龟（*Palaeochersis*）。它们被划为陆栖的，原因我们将在下一段中进行解释。它们恰好位于代表水生海龟的分支以外。看来，这两个属在古代就是陆生的。

在半甲齿龟被发现前，这两种化石龟是已知最古老的龟。它们和半甲齿龟一样，生活在晚三叠世，但要晚于半甲齿龟1500万年。一些权威专家复原了它们，认为它们是生活在淡水里，但最近有证据表明，它们确实是生活在陆地上（在图30中用黑体表示）。你可能很想知道，我们如何根据化石知道某种动物是生活在陆地上还是水中，特别是在如果只发现了碎片的情况下。有时候这是很明显的。鱼龙，是和恐龙同时代的爬行动物，有鱼鳍和流线型身体；这种看起来像海豚的化石，也一定像海豚一样在水里生活。但是，对于海龟和陆龟来说，这一点就没有那么明显了。你可能已经想到了，最能说明真相的就是它们的四肢——桨样的四肢和行走的腿是不一样的。耶鲁大学的沃尔特·乔伊斯（Walter Joyce）和雅克·高蒂尔（Jacques Gauthier）采用了这种常识性直觉来进行判断，并提供了支持数据。他们用三个重要方法，测量了71种现存龟类的臂骨和掌骨。我会尽量控制自己想要解释这些优美计算的冲动，但他们的结论非常明显。这些动物有着能行走的腿，而不是桨。在英式英语中，它们是“陆龟”，而不是“海龟”。它们生活在陆地，但只是现代陆龟的远亲。

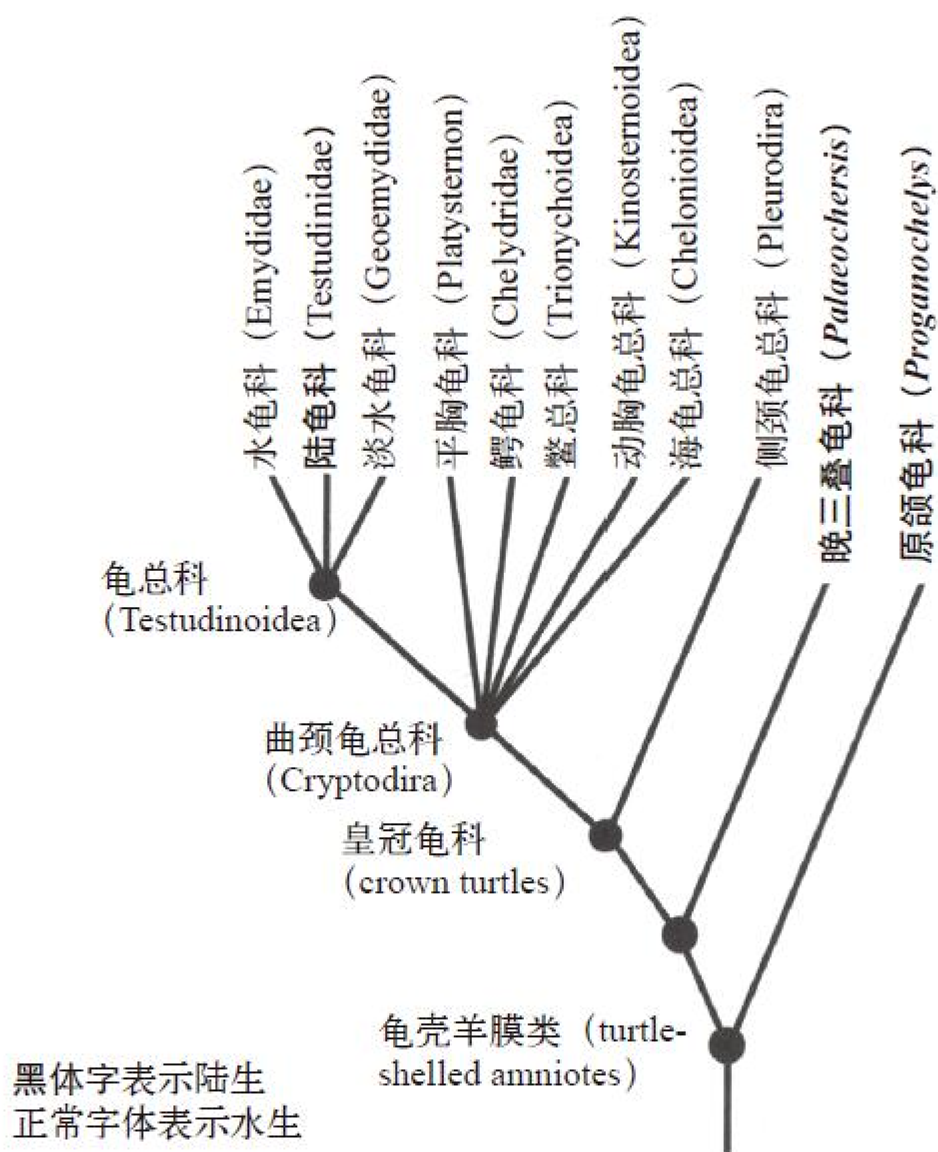


图30 海龟和陆龟的族谱

现在，看来我们遇到了一个问题。如果像描述半甲齿龟的论文作者们所认为的，它们半壳的化石表明壳是在水中进化成的，那么我们要怎样解释1500万年后生活在陆地的两个属的全壳“陆地上的龟”呢？在发现半甲齿龟之前，我会毫不犹豫地说：原颌龟和晚三叠龟是回到水中之前的陆栖祖型的代表。它们的壳是在陆地上演化形成的。一些带壳的陆地龟回到海里，像后来的海豹、鲸和儒艮所做的那样。

其他带壳的陆地龟留在了陆地上，但灭绝了。然后，一些海龟回到陆地，产生了所有现代的陆龟。在宣布发现半甲齿龟之前，我会作出上述的描述——我在本章的初稿中，实际上正是这样写的。但是，“半甲齿龟”把这些推测投进了回收炉。现在有三种可能，都同样令人着迷：

1. 原颌龟和晚三叠龟可能是陆生动物的幸存者，较早期时，这些陆生动物曾送了一些“代表”回到海里，包括半甲齿龟的祖先。这种假设认为龟壳是先在陆地形成的，然后半甲齿龟在水中失去了它背部的甲壳，保留了腹部甲壳。

2. 龟壳可能是在水中形成的，正如中国作者所说——先形成腹部胸甲，后形成背部龟壳。在这种情况下，我们要怎么理解，在半甲齿龟带着半壳生活在水里之后，原颌龟和晚三叠龟会生活在陆地上？原颌龟和晚三叠龟可能是独立地形成了它们的壳，但还有另一种可能。

3. 原颌龟和晚三叠龟，可能代表了更早的从水域返回陆地的生物。这是不是一个令人惊奇、兴奋的想法呢？

陆龟完成了“往回跑（再登陆）”的进化，对于这一显著的事实，我们已经相当有把握：早期的陆地“龟”回到了比它们更早的鱼类祖先的水环境，变成了海龟，然后再次回到陆地，成为一种新型的陆龟——陆龟科的动物。这是我们知道的，或者说几乎可以确定的。但现在，我们面临着另一个启示，即这种“往回跑”发生了两次，不仅仅产生了现代陆龟，而且远在更早以前的三叠纪产生了原颌龟和晚三叠龟。

我在另一本书中，把DNA描述为“逝者的遗传之书”。因为自然选择发生作用的方式，可以说，动物的DNA文本描述了其祖先经历的全部自然选择。鱼的“逝者的遗传之书”描述了祖先的海洋。我们和大多

数哺乳动物的这本“书”，前面的篇章都设定在海里，后面的部分则出现在陆地上。对于鲸、儒艮、海鬣蜥、企鹅、海豹、海狮和海龟来说，这本遗传之书的第三部分，叙述了它们如何史诗般地回到了遥远过去的那个生命的试验场——大海。但对陆龟来说，可能分别在时间相隔遥远的两种情形下，出现两次独立的重新登陆——也就是有个“第四部分”致力于描述最终的重新登陆。（或许不是最终的？）还可能存在另一种动物，其“逝者的遗传之书”像这样重写了多个进化的U形往复吗？最后，我在这里禁不住想揣测陆龟的表兄弟们——淡水和微咸水形式的龟类的情况。它们的祖先是直接从海里迁移到半咸水中，再迁移到淡水中吗？它们反映的是“从海返陆”的中间阶段吗？或者，也有可能它们构成了从现代陆龟的祖先开始的重返水中的过程吗？龟类是在进化的光阴里，往复穿行于水中和陆地吗？这种“重绘本”还能比我目前所提出的更密集地进行重写、重绘吗？

[附言]

2009年5月19日，我正在校阅本书的校样时，在线科学杂志《公共科学图书馆·综合》（*PLOS One*）发表了有关灵长动物中狐猴类和猿类之间的“缺环”的论文，该“缺环”被命名为麦塞尔达尔文猴（*Darwinius masillae*），它生活在4700万年前的雨林里（现在的德国境内）。该文作者宣称，发现了迄今为止最完整的灵长类动物化石：不仅仅是骨头，还有皮肤、毛发和一些内部器官，以及最后的食物。尽管“麦塞尔达尔文猴”完美得毋庸置疑，它最终也只不过是用来模糊清晰思维的迷雾。根据天空新闻台（Sky News）的说法，它是“最终证明了达尔文进化理论的第八大世界奇迹”。老天！“缺环”似乎并未失去其力量，仍能或多或少地给人们带来荒谬的神秘。

---

1. “I must go down to the sea again”似乎是正确的。这是英国诗人约翰·梅斯菲尔德的名篇《海之恋》中的句子，《牛津引语词典》（*The Oxford Dictionary of Quotations*）表明，普遍引用的“seas”源于一个印刷错误，这个错误首次出现，是在梅斯菲尔德1902年的首版中：一个不错的成功突变的弥母（meme）的例子。

2. 有人告诉我，*Proganochelys*这个词在希腊语中不太讲得通。如果它是*Progonochelys*，那么它将具有完美意义，将意味着像“龟祖先”或“原始龟”这样的生物，我不禁认为，这可能才是原作者命名该生物时的打算。不幸的是，动物命名的规则很严格，甚至于命名一旦出版，即使能看出明显的错误，也不能更改了。分类法中充斥着这样的“化石性错误”。这种错误中我最喜欢的是*Khaya*——非洲桃花心木。传说在当地的语言里，这个词的意思是“我不知道”，潜台词是“我不在意这个，为什么你不能停止问植物命名的蠢问题”。我喜欢这个传说。

第七章 缺失的人们？不再缺失

达尔文在他最知名的著作《物种源始》中，对于人类进化的论述，仅限于这十几个具有预示性的文字：“光辉将照耀人类的起源及其历史。”注这是该书第一版中的措辞，我通常引用的都是这一版，除非另加说明。到了第6版（最后一版），达尔文允许自己做出破例之举，将这个句子改成了“大量（much）光辉将照耀人类的起源及其历史”。我喜欢想象当时这位伟人悬笔于第5版上，审慎地权衡着是否要使自己沉浸于“大量”这种享受中。即便如此，这个句子仍是有意为之的保守陈述。

达尔文故意将自己对人类进化的论述推迟到了另一本书——《人类的由来》（*The Descent of Man*）。这部两卷本的晚期著作，对其副标题“选择与性的关系”（*Selection in Relation to Sex*）倾注了更多笔墨（主要是研究鸟类），也许这并不奇怪。“并不奇怪”是因为在达尔文著书之时，将我们和“与我们最近缘的猿”联系起来的化石尚完全没有出土，只有活猿可供达尔文观察，但他很好地利用了这些猿，（几乎是单枪匹马地）正确地主张：现存与我们最近缘的亲属，都来自非洲（即大猩猩和黑猩猩，那时倭黑猩猩尚被认为是黑猩猩的一支，但它们都是非洲的），并且由此预言，如果想找到古人类化石，应该去非洲搜寻。达尔文对“化石的缺乏”感到遗憾，但他仍然抱持着坚定的乐观态度。他引用赖尔（Lyell，他的导师和当时的大地质学家）的话指出：“在所有脊椎动物门类中，化石遗迹的发现是一个极其缓慢和偶然的过程。”他还补充道：“我们也不应该忘记——那些最可能提供人、猿之间联结遗迹的地区，到目前为止还未被地质学家搜索过。”他所指的这些“地区”是非洲，然而，他的直接

继承者大都忽视了他的建议，而去搜索亚洲地区，这无益于探寻工作。

的确，“缺环”最先在亚洲开始变得不再那么“缺失”了。但这些最先发现的化石都属于较晚近的年代，距今不超过100万年，那时的原始人已经非常接近于现代人，并且已经走出了非洲，到达了远东。这些化石根据其发掘地而被命名为“爪哇人”（*Java Man*）和“北京人”（*Peking Man*）㊟。“爪哇人”是在1891年由荷兰人类学家尤金·杜布瓦（Eugene Dubois）发现的。他将它命名为“直立猿人”（*Pithecanthropus erectus*），代表着他相信自己已经实现了毕生的追求——找到了“缺环”。对“直立猿人”这一命名的争议，源于两个对立的方面，一些人说他的化石纯粹就是人，另一些人则说它是一只巨大的长臂猿，但来自两方面的异议反而证明了他的观点。后来，在其颇为怨恨、愤懑的人生中，杜布瓦对“后来发现的北京化石与他的爪哇人相似”这类说法感到恼火。杜布瓦对自己的化石不仅有保护欲，更怀有一种强烈的占有欲，他坚信只有“爪哇人”才是真正的“缺环”。为了突出“爪哇人”与各种“北京人”化石的区别，他把“北京人”描述得非常接近现代人，而把自己的“特里尼尔（Trinil）爪哇人”描述为处于人与猿之间的中间型：

> 猿人（*Pithecanthropus*）[爪哇人]不是人，而是属于与长臂猿同列的一个大属，但是由于它的大脑容量非常大，而且具有采用直立姿势和步态的能力，使它卓立于该属，比长臂猿更高级。通常它的头向集中度（cephalization，大脑大小占身体大小的比例）是类人猿的两倍，是人的一半……
>
> 真正令人惊讶的是它的脑容量——把它视为类人猿，其脑容量就太大了；但它又小于人类的平均脑容量（尽管它不小于最小的人类脑容量），这导致了现在人们几乎普遍认为，“特里尼尔爪哇人”真的是一种原始人。然而在形态学上，其颅盖（头盖骨）与类人猿的很相似（特别是和长臂猿的颅骨很相似）……

然而，一些人认为杜布瓦说的意思是，“直立猿人是巨大的长臂猿，根本不是人和猿之间的中间型”，这无疑不能平息杜布瓦的怒气。杜布瓦煞费苦心地重申自己的早期立场：“我现在比以前更加坚定地认为，特里尼尔猿人就是真正的‘缺环’。”

神创论者一再说“杜布瓦放弃了其‘猿人是中间性猿－人（ape-man）’这一主张”，并将其作为一种政治武器。然而，神创论组织“创世记的答案”（Answers in Genesis），已将这一传言列入了他们“不足信，不应被采纳的论据”的清单中。他们一直保持这样的清单是值得称赞的。如我所言，猿人属中的“北京人”和“爪哇人”标本已经被人们表明是非常晚近的，距今不超过100万年。现在，他们已经和我们一起被归入人属（*Homo*），并且仍保留杜布瓦定的种名*erectus*，被称为直立人（*Homo erectus*）。

杜布瓦一心一意地搜寻“缺环”，却选错了搜寻的地方。因为他自己是荷兰人，所以他自然最先考虑荷属东印度群岛，但有这种献身精神的人，应该遵循达尔文的建议——前往非洲，因为正如我们将看到的，非洲才是我们祖先逐渐演化的地方。那些直立人（标本）走出非洲做什么呢？“走出非洲”这个说法是从丹麦著名作家凯伦·白烈森（Karen Blixen）(注)那里借用的，指的是我们的祖先从非洲的大批迁出。但是，历史上曾经发生过两批迁出，我们不能将它们混淆——这一点很重要。距今较近的时候（可能不到10万年前），外表和我们非常像的智人成群地迁出了非洲，然后分化成了如今我们在全世界所能见到的全部人种：因纽特人、美洲原住民、澳洲原住民、汉人等。“走出非洲”这个说法通常指最近的这批迁出。但是，还有一批更早的走出非洲的移民，这些直立人先驱将化石留在了亚洲和欧洲（包括“爪哇人”和“北京人”标本）。人们已知的非洲之外的最古老化石，发现于中亚国家格鲁吉亚（Georgia），被称为“格鲁吉亚人”（Georgian Man）（图31）——它是一种矮小的生物，人们通过现代方法鉴定了其头骨年代（头骨保存得相当完好），发现它大约生活在

180万年前。一些分类学家把它的学名称为*Homo georgicus*（格鲁吉亚人，尽管其他人并不认为它是一个独立的物种），以表明它比其他的早期非洲逃难者（都被归类为直立人）要更加原始。最近在马来西亚发现的一些石器比格鲁吉亚人的还要稍微古老一些，这引发了在该半岛的新一轮化石搜索。但不管怎么说，所有这些早期亚洲化石都与现代人类相当接近，而且现在他们都被归为人属；为了找到我们更早的祖先，我们必须去非洲。不过，我们应该首先停下来问一问：我们对“缺环”应该有哪些期待？

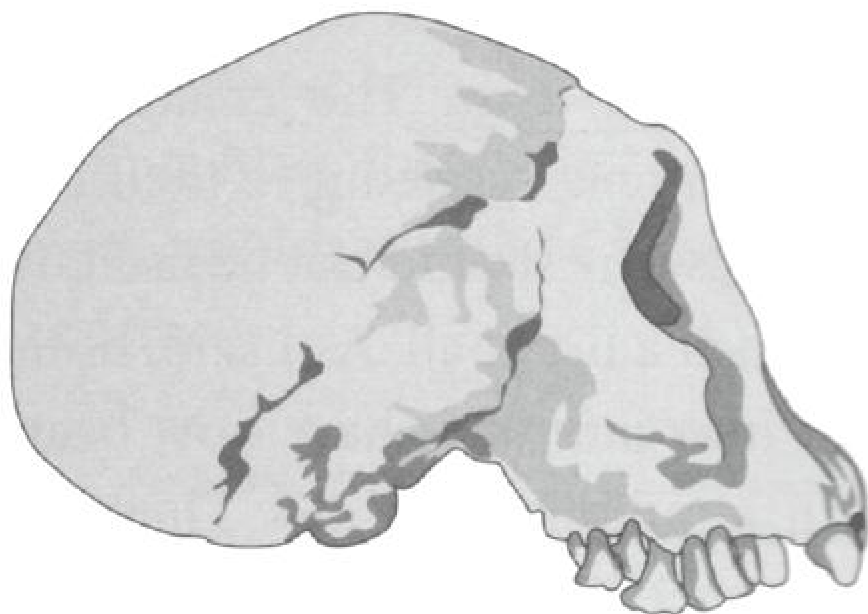


图31 格鲁吉亚人

设想一下，为了便于讨论，我们要认真地理清从根上被混淆的“缺环”一词的意思，然后寻找介于黑猩猩（见图32）和我们之间的中间型。我们不是源自黑猩猩，但可以肯定——我们和黑猩猩的共祖更像黑猩猩，而不是更像我们。尤其是这个共祖的大脑小于人类的大脑，可能它也不会像我们一样直立行走，但它可能比我们有更多的毛，而且它肯定没有诸如语言之类的高等人类特征。所以，在面对普遍的误解时，尽管我们必须立场坚定——我们不是从黑猩猩传衍下来

的，但是问一些“介于类似黑猩猩的生物和我们之间的中间型看起来像什么”这类问题，并没有什么坏处。

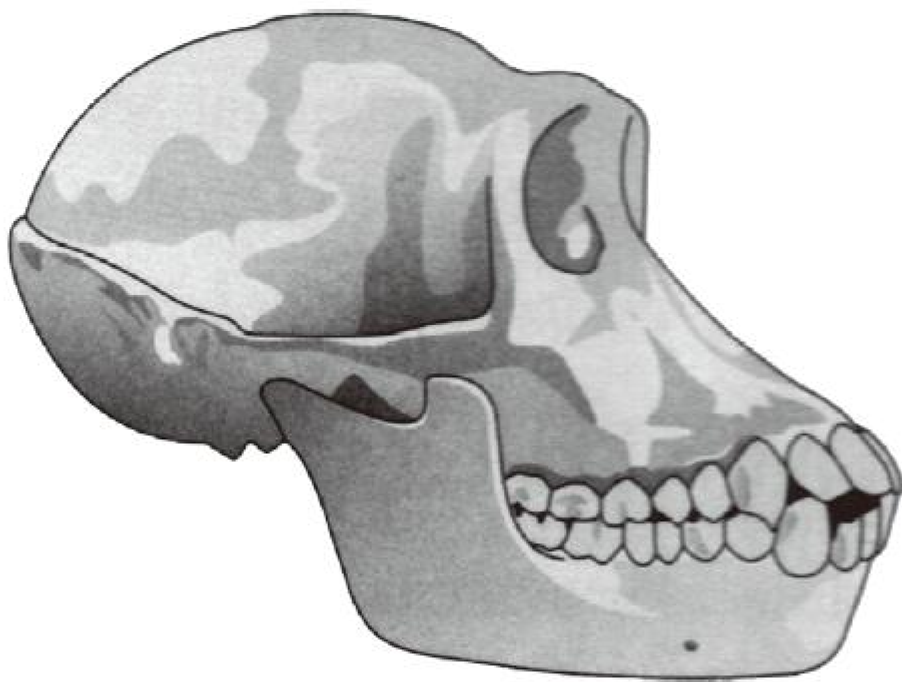


图32 黑猩猩

虽然头发和语言不能形成化石，但是，我们仍可以从头骨获得关于大脑容量的有力线索，并且从整个骨架［包括头骨，其枕骨大孔（*foramen magnum*）在两足动物中指向向下，而在四足动物中指向向后］我们还可以获得更多关于步态的有力线索。“缺环”的可能候选者会有如下属性中的任何一个：

1. 大脑容量居中，步态也居中，也许这是一种弯身的蹒跚姿态，而不是军官和优雅的女士所青睐的那种傲然挺立的风度。

2. 大脑容量接近黑猩猩，但像人类般直立行走。

3. 有大的、更像人类的大脑，但像黑猩猩一样用四肢走路。

现在，请在心中记下这些可能性，让我们依照着来检查现在已发现的许多非洲化石中的一部分（不幸的是，当年达尔文并没有这些化石）。

---

1. 英文原文为：Light will be thrown on the origin of man and his history。——编者注
2. 不出所料，北京（Peking）化石有时也被称为北京（Beijing）人。既然我们说的是英语而不是汉语，为什么我们在提到中国首都的时候要用Beijing呢？有部相当热门的英国电视剧《脾气暴躁的老男人》（*Grumpy Old Man*），就是这类牢骚和抱怨的搞笑合集。如果我在剧中，我会说类似下面的话。我们不喷Eau de Köln（古龙水）去掩盖Mumbai Duck（孟买鸭，一种海鲜）的味道，或跟随“The Blue Dunaj”（蓝色多瑙河）或“Tales from the Wien Woods”（维也纳森林的故事）跳华尔兹。我们不能将Man of München Neville Chamberlain（内维尔·张伯伦的慕尼黑阴谋）与拿破仑从Moskva（莫斯科）的撤退相提并论。我们还没有（虽然有时间）带着我们鼻音很重的Beij犬去散步。既然我们在说英语，用Peking有什么问题呢？我最近很高兴认识了一位会说一口流利普通话的英国外交团的成员，他在大使馆坚持使用Peking中起了领导作用。
3. 笔名为Isak Dinesen，但我还是喜欢用她的真名，因为我在凯伦（Karen）村附近度过了我的童年，那个昂山（Ngong Hills）脚下的村庄仍然用她的名字命名。

我现在仍然淘气地希望……

分子证据表明（我会在第十章中论述）我们与黑猩猩的共祖，大约生活在600万年前（或略早），所以让我们折中一下，来看一看300多万年前的一些化石。这个年代产生的最著名的化石是“露西”（Lucy），发现于埃塞俄比亚，被其发现者美国人家学家唐纳德·约翰逊（Donald Johanson）归类为南方古猿阿法种（*Australopithecus afarensis*）。不幸的是，我们只有露西的头盖骨碎片，但她的下颌却保存得异常完好。以现代的标准来看，“露西”比较小，虽然没有像弗洛里斯人（*Homo floresiensis*）那样小。矮小的弗洛里斯人，被媒体尖刻地称为“霍比特人”（the Hobbit），它们生活在印度尼西亚的弗洛里斯岛（Flores）上，很晚近才灭绝（真令人着急，如果生存的时间稍长一点就好了）。露西的骨架完全足以证明她在地上直立行走，但同时也可能上树寻求庇护——她是个灵巧的攀爬者。有充分证据表明，那些被认为属于露西的骨头，确实都来自某一单独的个体。所谓的“第一家庭”（First Family）的骨头则大不相同，虽然这些骨头与“露西”相似，同样发现于埃塞俄比亚，并且与“露西”基本属于同一年代，但这些骨头至少来源于13个个体，不知何故被埋在了一起。来自露西和“第一家庭”的骨头碎片，给人以“可由此得知南方古猿阿法种的长相”这一美好想法，但事实上，很难将来自许多不同个体的碎片真正地完全复原。幸运的是，1992年在埃塞俄比亚的同一区域发现的AL444-2（见图33），其头骨相当完整，验证了先前对头骨所做的尝试性复原。

人们在研究“露西”及其同类之后得出如下结论：他们的大脑容量几乎与黑猩猩相同，但与黑猩猩不同的是，他们是用后肢直立行走

的，和我们一样——这一结论符合三种假设情况的第二种。“露西们”有点像直立行走的黑猩猩。他们的双足直立行走的性质被英国人类学家玛丽·利基（Mary Leakey）戏剧性地证实了——她在固化的火山灰中发现了一系列极其生动的足印化石。这些足印发现于更南的地区，即坦桑尼亚的利特里（Laetoli），足印的主人大约生活在360万年前，早于“露西”和AL444-2。这些足印通常被认为是属于一对儿（携手？）共行的南方古猿阿法种个体；其重要意义在于：360万年前，一种直立猿已行走在地球上，尽管他们的大脑容量与黑猩猩的相同，但他们更像我们——因为他们是用两脚走路的。



图33 AL 444-2

我们300万年前的祖先很有可能包含在“南方古猿阿法种”（露西）中。其他化石则被归类为同一个属中的不同种，事实上，可以肯定我们的祖先就是这个属的成员。第一个被发现的南方古猿，即所谓的“汤恩小孩”（Taung Child），也是这个属的模式标本（type specimen）。汤恩小孩在3岁半的时候，被一只老鹰所食。证据是：该化石眼眶的伤痕与现代老鹰扯掉现代猴子的眼睛时所留下的伤痕相同。可怜的小汤恩，被愤怒的老鹰抓到高空，风中传来你的尖叫声，250万年之后，你成为南方古猿非洲种（*Australopithecus africanus*）的模式标本，但这注定的名声，亦不能给你带来丝毫安慰。可怜的汤恩妈妈，在上新世痛哭流涕。

“模式标本”指第一个被命名并被正式贴上某个博物馆的原始标签的新物种个体。理论上说，后来作出的发现都会与这个模式标本对照，以查看他们是否匹配。汤恩小孩在1924年被南非人类学家雷蒙德·达特（Raymond Dart）发现，并被达特赋予了新的属名和种名。

“种”（species）和“属”（genus）之间有什么差别？在继续讨论之前，我们首先要迅速地解决这个问题。属是更具包容性的分类单位。一个物种包含在某个属内，而且通常该属内还包含其他物种。智人和直立人是同属于“人属”的两个物种；“南方古猿非洲种”和“南方古猿阿法种”是同属于“南方古猿属”的两个物种。一种动物或植物的拉丁名总是包括一个属名（首字母大写），后跟一个种名（全部小写）。两个名称都用斜体表示。有时种名后会有一个附加的亚种名，例如：人属智人种尼安德特亚种（*Homo sapiens neanderthalensis*）。分类学家经常为名称而争论。比如，许多人会称呼其为人属尼安德特人种（*Homo neanderthalensis*）而不是人属智人种尼安德特亚种，从而将尼安德特人从亚种提升到种的地位。属名和种名也常常引起争议，而且它们在科学文献中，常随着历次修订而发生改变。鲍氏傍人（*Paranthropus boisei*）曾一度被称为鲍氏东非人（*Zinjanthropus boisei*）和鲍氏南方古猿（*Australopithecus*

boisei）[注]，而且仍然经常被人们通俗地称为健壮的南方古猿（Australopithecine）——与上面提到的两种纤弱的南方古猿相反。动物分类在某种程度上具有主观性，这是本章要表达的要点之一。

因此，雷蒙德·达特将该属的模式标本（汤恩小孩）命名为“南方古猿”，我们便被我们祖先的这个极其缺乏想象力的名字束缚住了。它仅仅表示“南方的猿”，与仅仅表示“南方国家”的澳大利亚完全无关。你可能认为，达特为“这么重要的一个属”想出的名称是很富有想象力的。他甚至可能已经推测到，该属的其他成员即将被发现于赤道以北的地区。



图34 “普雷斯夫人”

被称为“普雷斯夫人”（Mrs Ples）（图34）的头骨，比汤恩小孩略为年长，虽然缺失了下颌，却是我们拥有的保存最完好的头骨之一。“普雷斯夫人”（事实上可能是一个小体型男性而不是一个大体型女性）因其最初被归类在迩人（*Plesianthropus*）属中，所以“她”获此昵称。迩人的意思是“近乎人类”，与“南方的猿”（southern ape）相比，是一个更好的名字。有人可能会希望，当以后的分类学家确定普雷斯夫人及其同类确实和汤恩小孩属于同一个属时，“迩人”就会变成他们的共有名称。不幸的是，动物命名法的规则，严格得几近迂腐。命名在时间上的优先性，要高于感觉和适合

性。“南猿”可能是个糟糕的名称，但不管怎么说，它在命名日期上早于“迩人”这个合理得多的名称。看来，我们被“南猿”这个名称束缚住了——除非（我仍淘气地希望）某个人在南非博物馆尘积已久的储存柜里，发现了一个与普雷斯夫人和汤恩小孩同类的、被遗忘已久的化石，它贴着写有“*Hemianthropus*（半人）模式标本，1920年”这一字迹潦草的标签。那么，一夕之间，世界上所有的博物馆，将被迫给其南方古猿的标本和铸模重贴标签，所有关于史前人类的书籍和文章，也都不得不纷纷效仿。全世界的文字处理软件，都将全力地搜索出 *Australopithecus*（南方古猿）这个词，然后替换成 *Hemianthropus*（半人）。我想不到在任何其他情况之下，国际规则能如此强有力地在一夜之间，就下令在全世界进行一次追溯性的文字修改。

我现在要讲另一个关于所谓的“缺环”和“命名的任意性”的重要观点。显然，当普雷斯夫人的名字从“迩人”变成“南方古猿”，现实世界并未发生任何改变。这一点，大家应该都同意。但是，请考虑一个类似的情况——因解剖学原因，人们重新检查了一种化石，然后将其从一个属移到了另一个属。又或者其“属”性地位被相互争鸣的人类学家们所争议——这是经常发生的。毕竟，进化逻辑中至关重要的一点是——一定曾有个体恰好位于两个属的分界线上（如南方古猿属和人属之间的分界线上）。我们看一看普雷斯夫人和现代智人的头骨，就会很容易地得出结论：是的，毫无疑问，这两个头骨属于不同的属。如果我们认为人属的所有成员，都是南方古猿属中的祖种的后裔（当代几乎每一位人类学家都接受此观点），那么情况必然如下——在从一个物种到另一个物种的传衍链上，一定至少曾有一种个体恰好位于分界线上。这个观点很重要，所以请允许我多讨论一会儿。

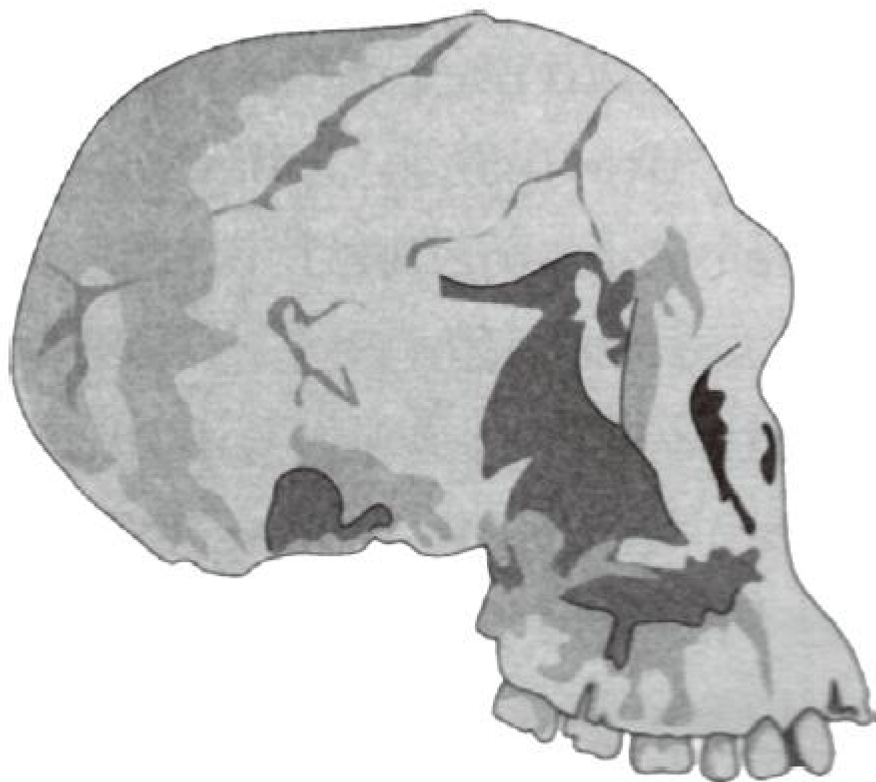


图35 KNM ER 1813



图36 KNM ER 1470

请记住作为260万年前的南方古猿非洲种之代表的“普雷斯夫人”的头骨形状，然后，让我们来看一看图35中的被称为KNM ER 1813的头骨；接着，再看图36中的被称为KNM ER 1470的头骨。后面的两个大约都要追溯到190万年前，而且被大多数的权威归到人属。如今，1813被归类为“能人”（*Homo habilis*），但它一开始并未被归类为能人。1470也被归类为能人——直到最近，有一个进行中的动议，想将它重新归类为鲁道夫人（*Homo rudolfensis*）。再一次地，我们看到了我们的“命名”是多么短暂易变。但不管怎么样：双方看来都认可“人属”这个立足点。普雷斯夫人（及其同类）的明显不同是——她的面部更向前突出和脑室更小。而在这两方面，1813和1470似乎都更接近于人，普雷斯夫人则更接近于猿。

接着，看一看下面这个被称为“崔姬”（Twiggy）（图37）的头骨。现在，崔姬通常也被归类为“能人”。相对于1470或1813的口鼻，普雷斯夫人的口鼻就已经比他们的突出了，但崔姬的口鼻却更加突出。当你被告知，崔姬被一些人类学家归为南方古猿属（*Australopithecus*），而被另一些人类学家归为人属时，你也许一点儿也不会觉得惊讶。事实上，这三个化石已经在不同的时期，分别被归类为“人属能人种”和“南方古猿属能猿种”。正如我已经指出的，一些权威在某些时期曾赋予1470一个不同的种名，将其从*habilis*改成*rudolfensis*。而且更有甚者，*rudolfensis*这个种名已经被固定在“南方古猿属”和“人属”这两个属中。总之，这三个化石在不同的时期，被不同的学术权威授予了不同的名称，以下是这些名称：

KNM ER 1813：南方古猿属能猿，人属能人

（*Australopithecus habilis, Homo habilis*）

KNM ER 1470：南方古猿属能猿，人属能人，南方古猿属鲁道夫猿，人属鲁道夫人

（*Australopithecus habilis, Homo habilis, Australopithecus rudolfensis, Homo rudolfensis*）

OH 24（“崔姬”）：南方古猿属能猿，人属能人

（*Australopithecus habilis, Homo habilis*）

这样混乱的名称会动摇我们对进化科学的信心吗？不，恰恰相反。这正是我们应该期待的，因为这些生物都是进化的“中间型”——它们是曾经缺失的，但现在已不再缺失的“环节”。如果没有如此接近分界线，以至于难以分类的中间型，我们才应该大感忧虑！事实上，从进化的观点来看，如果化石记录更为完整的话，那生物将不可能被赋予独特鲜明的名称。而在某种程度上，化石的罕见是值得庆幸的。如果我们的化石记录是完整连续的，那么我们就不可能对种和属赋予清晰的名称，或者至少会很成问题。可以这样说——古人类学家之间主要的纷争根由（即争论这样或那样的化石是属于这一种/属还是另一种/属）都是深刻而有趣的“无事生非”。



图37 “崔姬”

让我们假设一下：由于某些侥幸，我们幸运地拥有了所有进化性变化的连续化石记录，没有缺失任何环节。现在，让我们来看一看赋予1470的四个拉丁名。从表面上看，从*habilis*到*rudolfensis*的变化，似乎小于从“南方古猿属”到“人属”的变化。同属内的两物种相似度，要大于两个属之间的相似度，不是吗？这不就是在分类级别当中，属级（如与非洲猿并列的人属或黑猩猩属）与种级（如黑猩猩属中的黑猩猩种或倭黑猩猩种）之间区别的根本吗？是的，没错，当我们给现代动物分类时，这是正确的，现代动物可被视为进化树上细枝的末梢，而它们位于树冠内部的祖先，则都已经安乐地灭绝，退位让贤了。自然地，那些在树冠内部深处分叉的各树枝彼此相似度要低于那些分叉点（晚近的共祖）更靠近末梢的树枝的彼此相似度。只要我们不尝试对死去的先辈进行分类，这个系统就可以运作。但只要把我们假想的“完整化石记录”纳入进来，所有整齐的分隔就崩溃了。作为“行业通例”的离散名称，就变得不再适用了。如果我们穿越时光，稳步地向前追溯，我们就可以很容易地发现这种结果——就像我们在第二章中对兔子所做的追溯那样。

当我们往前追溯现代智人的祖系时，一定会有一个时代，那时的祖系和现代人具有足够大的差异，以至于应被赋予一个不同的种名，如匠人（*Homo ergaster*）。然而，这种追溯中每一步的个体，都与其亲代和子代足够地相似，因而它们都会被归为同一物种。现在我们再接着追溯匠人的祖系，一定会出现一个时代，在那时我们所得到的个体与“主流”匠人的差别足够大，以至于应被赋予一个不同的种名，如“能人”。现在，我们来到了这一主张的关键点。当我们向前追溯得更远，一定会有某个时代，在那时我们开始碰到与晚期智人差异足够大的个体，以至于应赋予其一个不同的属名：如南方古猿属（*Australopithecus*）。问题在于，“与现代智人的差异足够大”和“与最早的人属生物（这里指能人）差异足够大”完全是两码事。请

想一下诞生的“第一个能人”。她的父母还是南方古猿。她和她的父母属于不同的属吗？这样问真是太蠢了！是的，这的确是蠢话，但实际上并不是这句话的错，错的是我们人类坚持把一切都推入到一个有名有分的范畴。事实上，并不存在“能人的第一个标本”这样的生物。也没有任何门、纲、目、科、属、种的“第一个标本”。每一个曾经诞生的生物，都会被归为和其子代与亲代完全同样的物种（如果恰有一个动物学家在旁边进行归类的话）。然而，由于现实情况的后见之明及“缺失大部分环节”所带来的益处——是的，这反而成了一种“益处”——这才让人们可能分出不同的门、纲、目、科、属、种。

我希望我们确实有一条完整无损的化石链——一个记录了发生过的所有进化性变化的“电影胶卷”。我希望如此，不仅仅是因为我乐于见到那些动物学家和人类学家被弄得灰头土脸。他们彼此之间长期争吵，一生都在争论着这样或那样的化石属于这一物种还是那一物种，这一属还是那一属。先生们（我很好奇为什么似乎从来不是女士们），你们所争论的是字词，而不是现实。正如达尔文自己在《人类的由来》中所说：“在这不知不觉地渐变的一系列形态中——从一些类猿的生物到现今存在的人，我们不可能将‘人’这个词放置到其中任何一个定点上。”

让我们随着化石继续行进，并观察其中那些已不再缺失的、晚近的环节（虽然它们在达尔文时代是缺失的）。在我们和像1470、崔姬这样的各种生物（它们有时被称为智人，有时被称为南方古猿）之间，我们可以找到什么样的中间型呢？其中一些我们已经见过了，如爪哇人和北京人——它们通常被归类为直立人（*Homo erectus*）（图38）。这两种人生活在亚洲，然而有确凿的证据表明，我们人类的大部分进化都发生在非洲。爪哇人和北京人，以及它们的同类，都是来自“非洲母亲大陆”的移民。而一直在非洲的那些“同胞们”，现在通常被归为匠人（*Homo ergaster*）——虽然多年以来都被称作直立人

——这又一次表明了我们的命名程序靠不住。最著名的匠人标本——迄今发现的最完整的前人类化石之一，叫作图尔卡纳男孩（Turkana Boy）或纳利奥科托米男孩（Nariokotome Boy），由卡莫亚·基穆（Kamoya Kimeu）发现的［他是玛丽·利基之子理查德·利基（Richard Leakey）的古生物学家团队中，一位化石发现者之星］。



图38 直立人

“图尔卡纳男孩”生活在约160万年前，殇逝时约11岁。有迹象表明，如果他活到成年，将长到6英尺高。预计他成年时的脑容量将达到约900毫升（cc）。这是典型的匠人或直立人的大脑——其容量约1000cc。它明显小于现代人的大脑（1300cc或1400cc左右），但大于能人的大脑（约600cc），而能人的大脑又大于南方古猿的大脑（约400cc）和黑猩猩的大脑（约400cc）。你应该记得我们的结论：我们300万年前的祖先大脑容量与黑猩猩的相同，但却靠后肢行走。由此我们可以推测：下半部的故事（从300万年前到近代）将是一个大脑容量增加的故事。事实证明的确如此。

我们有很多匠人/直立人的化石标本，它们介于现代智人和200万年前的能人之间，是极具说服力的“不再缺失的中途环节”，而能人又是回溯到300万年前的南方古猿的一个美丽环节（而我们看到，南方古猿已可以被很恰当地描述为一种直立行走的黑猩猩）。你还需要多少环节，才会承认它们已不再“缺失”？还有，我们能否弥合匠人和现代智人之间的鸿沟？是的——我们有数量丰富且涵盖了过去几十万年的化石，这些都是介于它们之间的中间型。有些已经被赋予了种名，如海德堡人（*Homo heidelbergensis*）、罗德西亚人（*Homo rhodesiensis*）和尼安德特人（*Homo neanderthalensis*）。其他的（有时和上面的是相同的）则被称为早期智人。但是，正如我一直在反复说的，名称并不重要，重要的是环节已不再缺失。中间型比比皆是。

---

1. 与常常用发现者的名字命名疾病不同，新物种由他们的发现者命名，但不会用他们自己的名字去命名。这对生物学家来说，是一个很好的可借此纪念其他人的机会。在这个例子中，纪念的是一位捐助者。不出所料，我的一位备受敬仰的已故同事汉密尔顿（W. D. Hamilton）几次得到这种殊荣；可以说他是20世纪达尔文最成功的接班人之一，他为人沉郁，令人联想到英国童话作家A. A.米尔恩（A. A. Milne）的毛驴屹耳（Eeyore）的笑话（当然不是可悲的沃尔特·迪斯尼的版本）。汉密尔顿乘坐一只小船上进行亚马孙河探险时曾被黄蜂蜇了一下。他的伙伴在知道他是个大昆虫学家后问道：“比尔，你知道那只黄蜂的名字吗？”比尔沮丧地用他类似于毛驴屹耳的声音回答说：“知道，事实上，它就是以我的名字命名的。”

只要去博物馆看一看

于是，我们有了逐渐变化的良好的化石记录：从300万年前的直立行走的黑猩猩“露西”，直到今天的我们。历史否认者该如何应对这些证据呢？一些人会严词否认。我在2008年为第四频道的电视纪录片《天才的查尔斯·达尔文》（*The Genius of Charles Darwin*）进行采访时就遇到过这种情况。我当时采访了温迪·赖特（Wendy Wright），她是“美国忧心妇女”（Concerned Women for America’）组织的主席。她认为，“房事后的避孕药是恋童癖者最好的朋友”，这让我大致了解了她的推理逻辑，而且在我们的采访中，她完全未出我的意料。这次采访只有很少一部分被用于纪录片。下面是一段更全面的笔录，但显然为了本章的目的，我将仅提供我们讨论人类祖系化石记录的那部分笔录。

温迪：我要重申的是，进化论者们仍然缺乏支持其理论的科学依据。不仅如此，实际情况是，不支持进化论的科学被审查过滤掉了。例如，从一个物种到另一个物种的进化是没有证据的。如果，如果进化发生了，那么肯定，无论是从鸟类到哺乳动物，或者，或者，甚至更大的范围，都必然至少有一个证据。

理查德：我们有大量的证据。但很遗憾，你们这些人不断重复这种碎碎念，因为你们，你们只听自己人的说法。我的意思是，你们只需睁开自己的双眼，去看一看证据。

温迪：拿给我看，给我看，给我看骨头，给我看遗骸，给我看从一个生物到另一个生物的过渡阶段的证据。

理查德：每当一个物种和另一物种之间的化石被发现时，你们就会说：“啊，以前只有一个缺环，现在有俩了！”我想说的

是，几乎每一个被发现的化石，都是介于某一物种和另一物种之间的中间型。

温迪［笑］：如果情况是这样的话，史密森尼自然历史博物馆（Smithsonian Natural History Museum）就会充满了这些标本，但是它没有。

理查德：有啊，它有……就人类的进化来说，自达尔文时代以来，现在我们已经有大量关于人类的中间型的化石证据，例如，**南方古猿**属的各个物种，还有……还有能人——这是介于老物种南方古猿和新物种**智人**之间的中间型。我的意思是，为什么你不把这些看作中间型呢？

温迪：……如果进化真的有真凭实据，那么它会展示在博物馆里，而不只展示在插图中。

理查德：我刚刚就跟你说过，有南方古猿、能人、直立人、智人——早期智人与现代智人——这是一系列漂亮的中间型。

温迪：你仍然缺乏物证，所以……

理查德：物证就在那里。到博物馆去看一看它……显然，在这里我没有物证，但你可以去任何博物馆，然后就会看到南方古猿，就会看到能人，就会看到直立人，你还可以看到早期智人和现代智人。一系列漂亮的中间型。我都已经列出来了，你怎么还是一直说“把证据呈给我啊”？去博物馆看一看吧。

温迪：但我去过。我已经去过博物馆了，但是我们当中还是有很多人都不信服……

理查德：你见过，你见过直立人吗？

温迪：我觉得这是一种别有用心，通过这种颇具压制性的努力，来说服我们，给我们洗脑。但这么多人仍不相信进化论，似乎让你们很受挫。现在，如果进化论者们对其信仰果真信心满满的话，那么就不必费力地审查过滤信息了。这表明，进化论仍然缺乏证据，而且存在问题。

理查德：我……我承认我很受挫。这和压制无关，我已经告诉你了有关四五个化石的事实……［温迪笑］……但似乎你只是一味地忽略我在说的话……为什么你不去看一看那些化石呢？

温迪：……如果它们在我已经去过多次的博物馆里，那么我会客观地看待它们，但我要重申的是……

理查德：它们就在博物馆里。

温迪：我要重申的是，进化哲学会引发对人类有极大危害性的思想……

理查德：好吧，但是，难道进化哲学不是一个好思想吗，不要一味地误解达尔文学说，在政治上，这种误解已遭到极其恶劣地滥用。如果你试着去了解达尔文学说，那么你应该会消除这些可怕的误解。

温迪：好吧，事实上，我们常常被进化论支持者的咄咄逼人所逼迫。我们不是在躲避你一直呈现的这个信息。我们不是对达尔文学说一无所知，因为我们不可能摆脱它。它始终在逼迫着我们。不过，我觉得你的受挫来自这一事实，就是我们当中很多人看到了你们的信息，但仍然对你们的思想不买账。

理查德：你见过直立人吗？你见过能人吗？你见过南方古猿吗？我已经问过你这些问题了。

温迪：我所看到的是，在博物馆和教科书里，不论在什么时候，每当它们声称要展示一个物种和另一物种之间的进化性差异，都是凭借插图和绘图……没有任何物证。

理查德：好吧，你可能需要去内罗毕博物馆（Nairobi Museum）看一看化石原件，但你也可以看一看化石的铸模——在你愿意去参观的任何大型博物馆里，都有这些化石的精确复制品。

温迪：嗯，让我问一下，你为什么如此咄咄逼人？为什么每个人都应该相信你所相信的，这对你来说就那么重要吗？

理查德：我不是在讨论信仰，我是在讨论事实。之前我已经跟你说过某些化石，可是每当我对此向你提问时，你就逃避问题，转移话题。

温迪：……应该是有大量压倒性的物证，而不是只有一个孤证，话又说回来，本来就没有证据。

理查德：我之所以拎出原始人化石来说，是因为我想你可能对此最感兴趣，但是你也可以从你想点出来的任何脊椎动物群中找到相似的化石。

温迪：但是，我想我要重申的是，为什么"每个人都相信进化论"这对你如此重要……

理查德：我不喜欢"相信"这个词。我更喜欢请大家去看一看证据，而且我现在就在请求你去看一看证据……我希望你去一趟博物馆，看一看事实，不要相信别人告诉你的、没有证据的任何事儿。去看一看证据吧。

温迪［笑］：嗯，好吧，而我要说的是……

理查德：这并不好笑。我是说，真的去，去一趟。我已经告诉了你（有）原始人化石，而且你也可以去看一看马的进化，看一看早期哺乳动物的进化，看一看鱼的进化，看一看鱼到两栖动物和爬行动物的转变。你在任何一个好的博物馆里都能找到这些。只要你睁开双眼，看一看这些事实。

温迪：而我要说的是，睁开你的眼睛，去看一看那些由人们所建立的社团，那些人们都相信是慈爱的上帝创造了我们每一个人……

在那次交流中，看起来好像是我，一直在没有必要地固执强调，请求她应该去博物馆里看一看——但我真的就是这么个意思。这些人们已经被教着说："不存在化石，给我看证据，展示给我哪怕是一块化石……"他们经常这么说，久而久之就信以为真了。因此，我尝试

了这一试验，向这位女子提到三四个化石，不让她通过一味地回避来脱身。结果是令人沮丧的，但却是一个很好的例子，即当历史否认者们面对历史证据时，他们的惯用策略就是忽略证据，并重复这类咒语："给我看化石。化石在哪儿呢？没有化石。只要给我看一个中间型的化石就行，我别无所求……"

另一些人则被"命名"困惑住了，这些"命名"必然会产生本不存在的、错误的区分。可能是潜在中间型的每一块化石，总是或被归为"人"或被归为"南方古猿"。没有一个被归为中间型，这样，就没有了中间型。但是，正如我之前所解释的，这是动物命名规则所导致的一个不可避免的结果，并没有反映真实情况。你能够想象到的最完美的中间型，仍然会被人们强塞进"人属"或"南方古猿属"。事实上，它可能会被一半的古生物学家归为人，而被另一半古生物学家归为南方古猿。不幸的是，古生物学家并不会齐聚一堂赞成"模棱两可的中间型化石正是我们根据进化论所应该期望的"这一说法，反而很可能会给我们一种完全错误的印象——他们似乎因为术语争端而恨不得大打出手。

这有点像"成年人"和"未成年人"在法律上的区别。从法律目的出发，为了判断一个年轻人是否到了能够投票或参军的年龄，法律有必要对此作出一个绝对区别。1969年，英国的法定投票年龄从21岁降至18岁（1971年美国的法律也作出了同样的更改）。如今人们正在讨论是否要再降到16岁。但是，无论法定的投票年龄是多少，没有人会严肃地认为：18岁（或21岁、或16岁）生日的午夜钟声，会真的把你变为一种不同类型的人。没有人会严肃地认为，世上只有两种人——小孩和大人，而没有"中间型"。显然，我们都知道，整个成长期是一个长期的、中间性的历练阶段。有人可能会说，我们中有些人"从未真正地长大"。同样，从某些物种（如南方古猿阿法种）到智人，人类进化中包含了一系列毫不间断的、生儿育女的亲代，而当代分类学家无疑会把这些子女与他们的亲代归为同一个种。事后看来，

现代分类学家之所以坚持在每个化石上贴标签（标签必须表明这些化石属于某一个属，如南方古猿属或人属），其中有着类似于定出“法定年龄”的缘由。博物馆断然不允许标签上写着“介于南方古猿阿法种和智人种之间”。历史否认者们抓住了命名规则的把柄，仿佛这就是真实世界里缺少中间型的证据。如果是这样的话，那你也可以说——“根本就没有青少年”，因为你看到的每一个人，要么是一个有投票权的成人（18岁及以上），要么是一个无投票权的儿童（未满18岁）。这等于是在说，法律对选民年龄的必要限定，反而证明了青少年是不存在的。

我们再回到化石这个话题。如果神创论的辩护者是正确的，即南方古猿只是“一种猿”，那么其祖先就与我们所要寻找的“缺环”无关了。不过，我们不妨看一看它们的这些祖先。虽然它们相当零碎，但仍然遗留了几个线索。生活在400万~500万年前的地猿（*Ardipithecus*），因其牙齿而被大众所知，但现已被发现的、数量充足的头盖骨和脚骨表明它是直立行走的（至少大多数参与研究的解剖学家是这么认为的）。两个更古化石的发现也分别得出了大致相同的结论，这两个化石是始祖人［*Orrorin*，即“千年人”（Millennium Man）］和萨赫勒人［*Sahelanthropus*，即以下所说的“托迈”（Toumai）］（图39）。

萨赫勒人因其非常古老和发现地点独特而格外引人注目；它生活在600万年前，时代上接近于我们与黑猩猩的共祖，它被发现于距东非大裂谷（Rift Valley）较远的西部地区（位于乍得，在当地语言里其昵称“托迈”的意思是“生命的希望”）。发现者提出，始祖人和萨赫勒人是两足动物，但该论断遭到了其他古生物学家的质疑。而且，正像讽世者会注意到的：每个“问题化石”的质疑者中，总有一些（曾发现其他化石的）古生物学家同行。

同其他科学领域相比，古生物学领域的纷扰争执是众所周知的。（或许这可以看作是一种学术繁荣？）不得不承认，我们仍然缺乏化石记录连接直立行走的南方古猿和我们与黑猩猩的四足共祖（据推测是四足行走的）。我们不知道我们的祖先如何实现了后肢站立。我们需要更多的化石。但是，至少我们应该感到欣喜，我们比达尔文幸运，我们能欣赏到的良好化石记录向我们展示了进化的过程，即大脑尺寸跟黑猩猩一样的南方古猿，转变成了跟我们一样、有着气球一样之颅骨和大型大脑的现代智人。

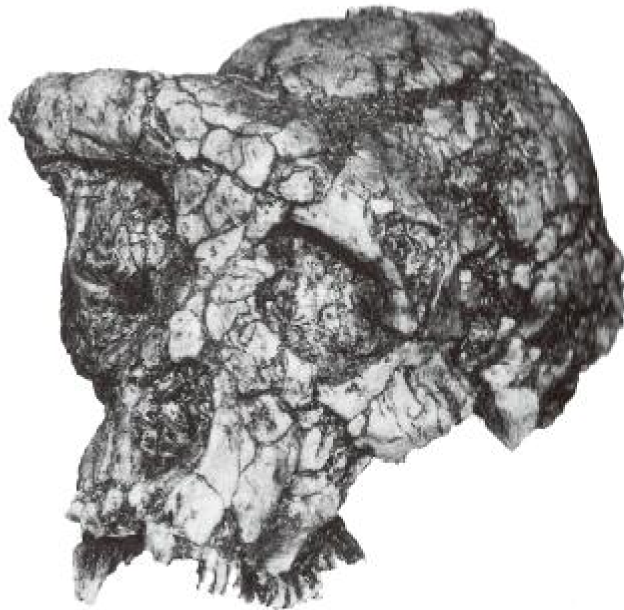


图39 萨赫勒人

我贯穿本章附上了各种头骨照片，鼓励对它们进行比较。你也许已经注意到了，例如，一些化石的鼻口或眉脊是突出的。有时这些差异相当微小，但这有助于领会一个化石到下一个化石的逐渐过渡。在这里我想“节外生枝”一下，但这一旁枝本身就能发展成一篇有趣的文章。个体一生中所发生的变化，要远远地大于我们对比连续数代的成体时所见到的变化。



图40 出生前不久的黑猩猩

图40中的头骨来自一只即将出生的黑猩猩。它显然完全不同于图32中所示的成体黑猩猩的头骨，而更像是人类的头骨（像成人的也像婴儿的）。还有一张被人们频繁转载的照片（见图41，图中有一只黑猩猩幼崽和一只黑猩猩成体），这张照片经常被用于说明“在人类的进化中，幼年的特征一直保持到成年期”这种有趣的观念（或者说“当我们身体尚幼时，就已经性成熟了”——这两种说法不一定完全是一码事儿）。我认为这张照片看起来太棒了，以至于好像不是真的。我把这张照片拿给我的同事德斯蒙德·莫里斯（Desmond Morris）看，征求他的专家意见。我问他：“它会不会是假的？你见过这么像人的黑猩猩幼崽吗？”莫里斯博士对黑猩猩幼崽的后背和肩膀表示怀疑，但是对它的头部则表示认同。“黑猩猩身形佝偻，而这只黑猩猩幼崽却令人惊奇地有着一个挺直的‘人类脖子’。但如果你单看头部，这张照片还是可信的。”本书出版公司的图片专家希拉·李（Sheila Lee）查出了这张著名照片的原始出处——这是美国自然

历史博物馆（American Museum of Natural History）的人于1909—1915年，在刚果的一次探险中拍到的。拍这只黑猩猩幼崽的照片时，它已经死了。她指出，摄影师赫伯特·朗（Herbert Lang）也是一位动物标本剥制师。所以人们可能会得出如下结论：黑猩猩幼崽如人类般的奇怪姿势是由劣质的填充物所致。然而，根据博物馆的说法，事实上，照片是朗在填充标本之前拍摄的。无论如何，一只死去的黑猩猩的姿势可以被调整成一只活着的黑猩猩所不可能有的姿势。德斯蒙德·莫里斯的结论似乎站得住脚。虽然黑猩猩幼崽那类似于人类的肩膀姿态是可疑的，但其头部却是真实可信的。

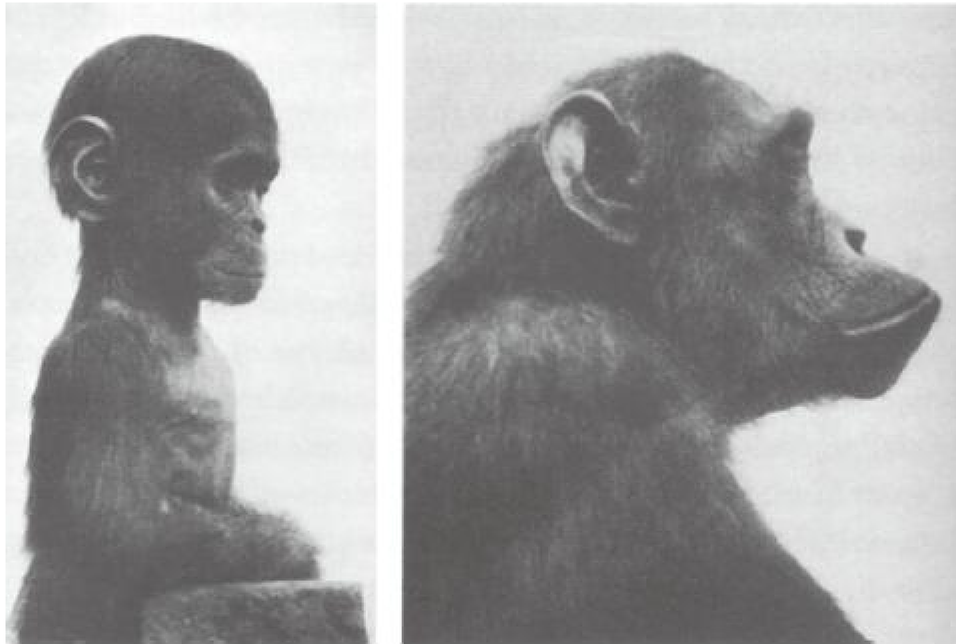


图41 朗拍摄的黑猩猩幼崽和成年黑猩猩的照片

即使肩膀的真实性经受不起严格推敲，但是通过观察头部，我们仍会立即明白，对成体化石的比较是如何误导了我们。或者，更具建设性地来说，成体和幼体头骨之间的巨大差异向我们展示了，一种特性（如鼻口突出）如何在合适方向发生改变，就能轻易地使该个体变得更像（或更不像）人类。黑猩猩的胚胎发育“知道”如何长出一颗像人的头颅（因为每只经历幼崽阶段的黑猩猩确实做到了这一点）。情况很有可能是这样的：南方古猿历经各种中间型，最终进化成了智

人，在该过程中，它通过“把幼体特征保留到成体阶段”这一明显的途径而不断地缩短了鼻口（该过程称为幼态持续，在第二章中谈过）。在任何情况下，大量的进化改变来自某些部位相对于其他部位的增长速度的改变，即所谓的异时性增长（heterochronic，“不同时间的增长”）。我想我要说的是，一旦你接受了所观测到的胚胎学变化的事实，你就会毫不费力地接受“进化性改变”这种事实。胚胎经异速增长（不同部位以不同的速度增长）而发育成形。咽喉和鼻口骨骼与颅骨的其他骨骼相比，生长发育速度较快，于是，黑猩猩幼崽的头骨就长成了成体的头骨。重申一下，每一个物种在其自身胚胎发育过程中所发生的变化，都远远超过典型的成体随着地质时期在一代又一代所发生的变化。这就是我对“胚胎发育及其与进化的关联”那一章所涉内容的提示。

第八章 你自己在9个月内就做到了

天才霍尔丹脾气暴躁，但一生成就斐然，包括成为创建新达尔文主义的三领袖之一。有一次，在某个公共演讲之后，霍尔丹受到了一位女士的挑战。这是一则口口相传的轶事，约翰·梅纳德·史密斯（John Maynard Smith）很遗憾没在现场见证两人准确的对答，但他们的交流大致是这样进行的：

> **进化论怀疑者：**霍尔丹教授，即便有十几亿年时间可供演化的展开，我还是不相信这能使一个单细胞变成一个复杂的人体，包括由上万亿的细胞组成骨骼、肌肉和神经、一颗要持续跳动数十年的心脏、绵延数英里长的血管和肾小管，以及一个能思考、会说话、有各种感觉的大脑。
>
> **霍尔丹：**但是，夫人，你自己就做到了。而且这只花了您9个月的时间。

也许，提问者瞬间就被霍尔丹的意外回答惊倒了，恐怕“泄了气的皮球”亦不足以描述其窘态。但是，从某一方面来讲，霍尔丹的反驳，可能还不能令这位女士满意。我不知道她后来是否还问了什么补充性问题，但是，如果有，大概会是下面的这种方式：

> **进化论怀疑者：**啊，对，但是胚胎的发育遵从遗传的指导。那就是关于如何构造一个复杂人体的一系列“指令”，但是您，霍尔丹教授，您所声称的“演化”是通过自然选择发生的。即使给这种演化十几亿年的时间，我仍然难以相信。

也许她言之有理。即使真的证实了，最终是由上帝来决定设计生物的复杂性，但若说上帝“塑造”活体，就像泥塑家、木匠、陶艺师、裁缝或汽车制造商那样的方式进行工作，仍是大错特错。人类可能是“完美发育”的，但并非“精心制造”的。当孩子们唱：“鲜明颜色小羽翼，都是上帝亲手造。”[注]他们说的明显是一个幼稚的假话。无论上帝做的是什么，他当然没有“制造”“鲜明颜色小羽翼”。如果他真的做了什么的话，也应该是监督胚胎发育的过程，例如通过优化基因序列，指导某一自主发育过程。翅膀不是制造出来的，而是生长出来的——渐进式地从卵中的翅芽长出来。

我们重申这一重点（这本该很明显的，但对某些人来说并非如此）——上帝在其永恒的生命中，从来没有造过任何一只小翼。如果他造过什么东西的话（我认为他肯定没有，但先不管它，这不是我想在这里谈论的问题），他所制造的也是一个胚胎发育的“配方”，或者类似计算机程序的东西，用来控制小翼（及许多其他器官）的胚胎发育。当然，上帝可以宣称他为这个小翼设计的配方或者程序，同样是大智慧，同样是一个惊人的技术创举，绝不亚于直接制造一只小翼。但是现在，我只想区别这两件事——“制造类似小翼的东西”和“胚胎发育的实情”。

---

1. 人们已告诫我《一切绚烂而美丽的事物》（All things bright and beautiful）不一定会像旧日冲击我那样，冲击我的读者。一切沉闷而丑陋的/一切矮小而蜷缩的/一切粗鲁而肮脏的/都是耶和华上帝创造。每一条有毒的小蛇/每一只蜇人的小黄蜂/是上帝创造了它们的毒液/是上帝给了它们可怕的翅膀。一切生病、癌变的/一切大大小小的邪恶/一切肮脏和危险的/它们都是上帝造。每一只讨厌的小黄蜂/每一只野蛮的小乌贼/是谁创造了蜇人的海胆？/是谁创造了鲨鱼？上帝造的！一切会结痂和溃疡的/一切大大小小的痘疹/腐烂，缠绕和坏疽/它们都是上帝造。这是一首由C. F. 亚历山大夫人（Mrs CF. Alexander）在1848年写给儿童的圣公会赞歌，以轻松的语调赞美大自然的美景（并且其中一节讲的是政治现状）连带叠句反复地说“它们全部由耶和华神创造”。这是一个由艾瑞克·爱都（Eric Idle）写就的精彩主题，并由蒙提·派森（Monty Python）乐队演唱。

无人编舞

早期胚胎学分为两大对立理论，分别是先成论和渐成论。人们往往不能清楚地理解两者之间的区别，所以，我将花一点时间解释这两个概念。先成论者认为，卵子（或精子，因为先成论者又分为“卵原论者”和“精原论者”）含有一个微小但手脚齐全的婴儿或者说“小人儿”。“小人儿”身体各个部位都恰到好处地彼此关联，只等着像气球一样膨胀生长。这种说法引发了明显的问题。第一，至少在该学说处于早期不成熟形态时，它就需要一个众所周知的错误作为（理论）基础：我们只遗传自双亲中的一方——对卵原论者来说，是母亲的卵子；对精原论者来说，是父亲的精子。第二，支持这一说法的先成论者必须面对一种俄罗斯套娃式的无限回溯，小人儿里面套小人儿……就算没有无限的，至少也要有足够多的、能追溯到夏娃的小人儿（精原论者则要追溯到亚当）。摆脱这种“套娃追溯”的唯一方法就是，每一代都通过精心扫描前一代的成年身体，来构建新的小人儿。但这种“获得性特征的遗传”并没有发生——否则犹太男孩生下来就会没有包皮，而有健身习惯的妈妈（而不是她们不爱运动的双胞胎姐妹）将会生下拥有6块腹肌、胸肌和臀部肌肉的“健将婴儿”。

我要为先成论者说句公道话，不管看上去有多么荒唐，他们的确光明正大地直面了这种逻辑上的必要追溯。至少，先成论者中某些人确实相信，最初的夏娃（或亚当）体内有其所有后裔的微型胚胎，像俄罗斯套娃一样，层层嵌套。此外在某种意义上，先成论者不得不相信这一点（这种意义值得一提，因为它是本章的关键）——如果你相信亚当是被“造出来的”而不是生出来的，这就暗示了亚当是没有基因的——或者至少他不需要基因进行发育。亚当是没有经过胚胎发

育，而突然出现的。一个与此有关的推论，是维多利亚时代作家菲利普·高斯［Philip Gosse是埃德蒙·高斯（Edmund Gosse）的《父与子》（*Father and Son*）一书中的父亲］写了一本书叫作《亚当之脐》（*Omphalos*，希腊人称肚脐为Omphalos），书中认为亚当虽然不是生出来的，但必定有一个肚脐。类似“肚脐推理”的另一个更复杂的推论是，如果相信世界只有几千年历史的话，我们怎么可能看到距离地球几千光年之外的星星？创世论者只好认为，上帝造星星的时候，也同样为星星造好了已经抵达地球的星光。开“肚脐学”的玩笑听起来轻薄无聊，但用在这里却是基于胚胎学的严肃目的，正契合本章的主题。事实上，这是一个不易领会的难点，我也正在努力把握中——通过各种方式，尽力理解。

基于以上原因，先成论，至少就最初级的“俄罗斯套娃”版本的先成论而言，总是无效的。在DNA时代，能否出现一个合理的新版“先成论”？也许会有，但我持怀疑态度。生物教科书一直强调DNA是构造身体的“蓝图”。事实并非如此。真正的蓝图，是一一对应的图—物对照（如车辆或房屋的蓝图），这种蓝图是可逆的，不难由实物再还原成图，因为两者是一一对应的。事实上，这比用DNA构建生物体要简单，因为你要建造一所房子，只需要测量一些数据然后绘制蓝图即可，但如果你要建造的是动物的身体，无论进行多少次详细的测量，你也不能重建它的DNA。据此，“DNA是构造生物体结构的蓝图”的说法是错的。

理论上，我们可以想象一下：外星球上的生物可能是这样运作的——DNA可能编码描绘了生物体——生物体的三维地图被绘成了线性的DNA“代码”。这种方式也确实将是可逆的。“通过扫描机体制作一个遗传蓝图”并不是一个完全荒谬的想法。如果这是DNA的遗传方式，可以认为，这种说法就是新先成论的一个版本。它不会唤醒“俄罗斯套娃”的幽灵。而且，在我看来，尚不清楚它是否会唤醒“遗传自某一单亲”这种观点的幽灵。DNA可以用一种非常精确的方式，将一半的父

本遗传信息和一半的母本遗传信息整合起来，但是DNA如何能将父本和母本的身体各扫描一半并整合起来？就此打住，这种想法与实际相差太远了。

因此，必须强调，DNA并不是一个蓝图。亚当是由上帝直接塑造了其成年形体，一个真正形体的“长成”则与亚当不同——他需要从一个单细胞受精卵开始，经历胚胎发育、婴儿、幼童和青少年的中间阶段。也许某个外星球上的生命自身确实形成于一个有序的、从头到脚的三维生物图像扫描库，但这并不是地球上生物的遗传规则；事实上我认为，有理由指出“为什么它不可能是任何星球上的遗传法则”——详情我已在前面的章节讲过，在此不再赘述(注)。

历史上，与先成论相对的是渐成论。如果说先成论都是关于“蓝图”的理论，那么渐成论所谈论的更像是一个配方或一个计算机程序。《简明牛津英语词典》（*Shorter Oxford English Dictionary*）对渐成论的定义相当现代，我不知道创造了这个词的亚里士多德是否还能认得出来：

> **渐成论**（epigenesis）：有机体从最初未分化的整体，逐渐分化发育成一个生物体的理论。(注)

生物学家刘易斯·沃伯特（Lewis Wolpert）及其同事在他们的《发育原理》（*Principles of Development*）一书中，把渐成论描述为“新结构的渐次展开”这种理念。其中有一层意义是“渐成论的真实性是不言自明的”，但是细节很重要，魔鬼就藏在细节中。器官是如何渐次发育形成的？如果不是依照一个“蓝图”，那么，最初未分化的某一整体怎么“知道”如何进行渐次分化？在这一章里我想要阐明的区别（很大程度上相当于先成论和渐成论之间的区别），其实就是“有计划的建设”和“自组装”之间的区别。“有计划的建设”，

其含义对我们而言已经很清楚了，因为我们日常所见的建筑和其他人工制品都是以这种方式建成。而大家对“自组装”却不是很熟悉，因此，我需要对它特别加以说明。在发育（学）的领域里，自组装占据的位置，类似于进化中的自然选择，虽然它肯定是一个与自然选择不同的过程。相同的是，自组装与自然选择都是通过无意识的、非蓄意和无计划的方式，取得了表面看来仿佛是精心策划的结果。

霍尔丹只对怀疑者的提问说出了简单的真相，但他也不会否认“从一个单细胞发育成为复杂的人体”这一事实神秘得近乎神迹（但永远达不到“神迹”）。不过，这一壮举是依靠DNA遗传指令的帮助完成的，所以在某种程度上减弱了其神秘性。之所以仍留有神秘性，是因为我们很难想象，甚至仅从原则上也很难想象，我们要怎样按照人体建造的实际方式，着手写下建造人体的指令（也就是我所说的“自组装”，这和计算机程序员有时所称的“自下而上”的方式有点相似，而和“自上而下”的方式相反）。

一位建筑师设计了一座大教堂。然后，通过一个等级链下达命令，把施工操作分解给各独立部门，各部门进一步分解到其子部门，等等，直到指令最终交给了每一位石匠、木匠、玻璃工，他们“经经营营”，直到大教堂建成，并且看上去很像建筑师的原始绘图。这就是“自上而下”的设计方式。

“自下而上”的设计方式与上述完全不同。我从来都不相信以这种方式可以建成教堂，但曾经有一些传说，认为欧洲某些最好的中世纪大教堂是没有建筑师的。没有人设计这些大教堂。每一个石匠和木匠都各忙各的，以自己的技艺建筑自己分管的角落，很少关注别人做什么，也不关注任何总体规划。不知怎么的，以这样无政府的状态，仍能建成大教堂。如果这真的曾发生过，那就是“自下而上”的建筑方式。尽管有这种传说，但肯定没有教堂是这样盖起来的[注]。不过这种自下而上的方式，确实发生在白蚁或蚂蚁构建蚁穴之时——也同样

发生在胚胎发育中。这就使得胚胎发育与我们人类熟悉的建筑方式或制造方式截然不同。

同样，“自下而上”的原则也适用于某些类型的计算机程序、某些动物行为，以及两者结合起来的产物——用来模拟动物行为的计算机程序。假设我们想了解欧椋鸟的集群行为。在视频网站YouTube上有一些精彩动人的视频可供观看，本书彩页16的照片即来源于此。这些芭蕾舞似的行为是狄伦·温特（Dylan Winter）在牛津大学附近的一片沼泽区奥特姆（Otmoor）上空拍到的。无论群舞呈现何等形态，欧椋鸟的这种行为最显著的特征就是——无人编舞，并且据我们所知，也没有领舞者。每一只欧椋鸟都只是遵循局部规则罢了。

参与这种集群行为的欧椋鸟数量可以成千上万，但它们几乎从不会相撞。谢天谢地，考虑到它们飞行时的速度，任何相撞都会令它们遭受重伤。通常情况下，整个鸟群盘旋或转向时行动如一，表现得浑然一体。每个单独的分群彼此仿佛是以相反的方向飞行，但保持着分群整体的统一。这看起来像是奇迹，但实际上，各分群离相机的远近不同（但却呈现在同一平面），它们并不是互相穿越的。盘旋的鸟群边缘界定如此清晰，更增加了审美愉悦。鸟儿在边缘并不是渐渐减少的，而是直接出现了突然的边界。边界上鸟的密度并不小于鸟群中心的密度，但在边界外，一只鸟都没有。一旦你去思考这件事情，难道不觉得令人惊讶地神奇吗？

整个飞舞表演，如果能做成电脑的屏保程序，是非常优雅的。不过，你应该不会想要一部真的欧椋鸟录像，因为这样你的屏保将不断重复同一种舞蹈动作，不能活跃所有的像素点。但你可以用电脑对欧椋鸟集群行为的模拟程序来做屏保，而任何一位程序员都会告诉你，编这种程序，有两种方法——正确的方法和错误的方法。不要尝试去编导整个芭蕾舞剧——对于我们的任务，那将是一种非常糟糕的编程方式。我想讨论“正确的方法”，因为几乎可以肯定这些鸟儿也用类

似的方法在自己的头脑中“编程”。更重要的一点——这是关于胚胎发育的一个重要类比。

编程模拟欧椋鸟的集群行为要这样做——几乎要把所有的努力投入在编写单独“一只鸟”的行为上。要根据鸟群中的相互距离和位置关系，为一只“电子鸟”编写出详细的规则，控制它如何飞行、如何与邻近的其他鸟互动等。还要为单只鸟受邻近鸟影响所占的权重、主动改变方向的权重等订下规则。这些用于建模的规则，可通过仔细测量真实的欧椋鸟集群行为而得出。据此，赋予你的“电子鸟”某种可随机改变规则的倾向。现在，写完了关于一只欧椋鸟详细行为规则的复杂程序后，接下来是我在本章强调的“关键步骤”。不要试图编程控制“整个集群”的行为（像早几代程序员可能做的那样），相反，只需复制你所编写的单只欧椋鸟程序就可以了。将你所设计的“电子鸟”复制上千次，可以一模一样地复制，也可以让彼此间有细微的随机差别。然后，在你的电脑中“放飞”这上千只“模型鸟”，这样它们就都遵循同样的规则，可以自由地互动。

如果你对一只欧椋鸟的设计正确无误，那么，这上千只鸟（各自占据计算机屏幕的一个点）将产生像真正的冬天欧椋鸟一样的集群行为。如果集群行为不尽如人意，你可以检查并修正单只鸟的行为程序，也许还需根据对真正的欧椋鸟行为进一步测量，来修正程序。然后，重新复制上千次新版程序，替换原先不能准确运行的程序。持续更新并复制单鸟行为程序，直到屏幕上成千个程序叠加产生的集群行为成为一个真正令人满意的屏幕保护程序。1986年，克雷格·雷诺兹（Craig Reynolds）以上述方式编写过这样一个程序（并不是专门针对欧椋鸟），称之为“Boids群聚模型”。

其中的关键就是：这种行为模式无人编舞，也没有领舞者。命令、组织、结构——所有这些，都以规则的副产品形式浮现出来，而规则是反复重复、局部适用的，不是全局适用。胚胎的发育，也正是

如此。胚胎发育是由“地方规则”（local rules）完成的，来自各个层次的，尤其是单个细胞层次的“地方规则”。整个发育过程中，无人编舞、没有乐队指挥、没有中央计划、没有建筑师。在发育学领域或制造业领域，这种程序的对等过程是“自组装”。

生物体（如人、老鹰、鼹鼠、海豚、猎豹、豹蛙、燕子）是如此美妙地构成一体，人们似乎很难相信，用来编写它们发育程序的基因，并不具有蓝图、设计或整体规划的功能。但它确实没有这些功能：就像单鸟行为程序一样，发育完全是单个细胞在遵循细胞内固有规则下完成的。精心“设计”的生物体，是由单个细胞遵循一系列固有规则而浮现出来（emerge）的，没有参考任何能被称作整体全局造物计划的东西。正在进行胚胎发育的细胞，彼此旋转共舞，就像巨大的欧椋鸟群一样。但两者之间还存在着重要的不同。与欧椋鸟不同，细胞彼此间是呈片状或块状直接接触的：它们的“群”被称为“组织”。当它们像微型欧椋鸟一样旋转共舞时，随着细胞运动，结果塑造了组织细胞内陷的三维立体形状[注]；或者由于局部细胞生长或死亡导致胚层膨胀或收缩。我喜欢与之类比的是折纸艺术，这是由杰出的胚胎学家刘易斯·沃伯特在其所著的《胚胎的胜利》（*The Triumph of the Embryo*）一书中提出的；但在介绍这个类比之前，我想先解释清楚人们可能会想到的另一个类比——来自人类的手艺和生产流程的一个类比。

---

1. 这里为介于生物学家和计算机科学家之间的专业人士做一个注释：查尔斯·西蒙尼（Charles Simonyi）说话总带着优秀程序员的权威性。他在阅读了本章的早期手稿之后，评价如下：“……从位点或碱基的角度来说，眼睛、大脑、血液等的配方要比造成同样效果的蓝图简单得多，配方令进化成为可能（在10100年内），特别是因为蓝图上的小变化将可能不会有任何积极效果，而配方中的改变则会有积极效果。”西蒙尼博士接着说[暗指我自编的“电脑生物形态”和“节肢动物”（见第二章）]：“你[为《盲眼钟表匠》和《攀登不可能的山峰》编程造出]的人造生物，都是通过配方描述的，而不是蓝图——蓝图将只是一堆杂乱的黑线表示的向量——你能想象得到，每次试图通过改变各种不同的黑线的端点表现一次进化，甚至两次进化吗？”可以预料，被比尔·盖

茨（Bill Gates）称为“历代最伟大的程序员”所说的话，对于电脑生物形态来说完全正确，当然对芸芸生灵也是正确的。

2. 这里还存在一种风险，即“渐成论”会被误认为是“表观遗传学”（一个流行的热门话题，正享受着其在生物学社群中的15分钟的盛名）。不管“表观遗传学”可能意味着什么（而它的热心者们似乎本身尚处于矛盾中，更不用说彼此认同了），我想在这里说的一切就是：它和渐成论是不一样的。

3. 我的同事、中世纪历史学家克里斯托弗·泰尔曼（Christopher Tyerman）证实，这确实是一个神话，一个为了理想化的原因而在维多利亚时代发明的神话，完全不符合实情。

4. 内陷（invaginate）：“向内折叠形成一个凹陷”，“自我翻转或反折”，见《简明牛津英语词典》。

可同“发育”类比的过程

要为“活组织的发育过程”找一个好类比，其困难程度令人惊讶，但你可以找到与该过程的特定方面有部分相似的事物。用配方作类比抓住了某些精髓，我有时也会用这个类比，来解释为什么说“蓝图”并不恰当。配方与蓝图不同，配方是不可逆的。假如你按照蛋糕制作配方一步步做下去，最终，你会得到一块蛋糕。但是你不能拿一块蛋糕还原出做蛋糕的配方（尤其是配方里那些精确的步骤）；然而，正如我们亲眼所见，你可以根据一所房子还原出近似原始蓝图的东西。这是因为，房子和蓝图上的每一个位点都是一一对应的。在蛋糕和制作配方的文字描述之间并没有一一对应关系，或者说，蛋糕与配方上的文句不能一一对应（除了“在蛋糕上放上草莓”这样明显的例外）。

有没有其他的事物，可类比“制造人类”这件事？雕刻，是最不准确的类比。一个雕刻作品，开始于一大块石头或木头，通过切削、打磨使其逐渐成形，直到最后保留了人们心目中渴求的形状。不可否认的是，雕刻与胚胎发育中的一个特定过程有着惊人的相似，这个过程叫作细胞凋亡（apoptosis）。细胞凋亡是细胞程序性死亡，例如，在手指和脚趾的发育中就涉及细胞凋亡。在人类胚胎中，起初，各手指（和各脚趾）都是连在一起长的。在子宫里，你我的手脚都是有蹼的。通过程序性细胞死亡，各手指和脚趾之间连接的蹼消失了（对大多数人来说是这样的，偶有例外）。这有点使人联想到雕刻家的工作方式，但它并不常见或者说不够重要，不能反映胚胎正常的发育过程。胚胎学家可能会短暂地想到“雕刻家的凿子”，但他们不会让这种想法在头脑中停留太久。

某些雕刻家不通过切削进行雕刻工作，而是以一块黏土（或软蜡）揉捏成型（可能随后用其他材料灌铸，如青铜）。这也不是对胚胎发育的一个好的类比。剪裁或缝纫工艺也不是。剪裁或缝纫工艺是指，按照预先设计的图样，将已有的布裁剪成形，然后与其他裁剪成形的布缝在一起。缝好的衣服常常将缝的一面翻转到内侧，以掩饰接缝——至少这一点，很好地类比了胚胎发育中的某些过程。但是，通常来说，就胚胎发育而言，裁制衣服的类比并不比雕刻塑像的类比更高明。用织毛衣来类比可能更好，因为整个毛衣的形状是由无数独立的针脚织成的，就像无数的单个细胞。但是，我们将看到更好的类比。

如何在工厂流水线上组装一辆车（或其他复杂机器）会是一个好类比吗？就像雕刻塑像和裁制衣服一样，组装预制件是一种生产产品的有效方式。在汽车制造厂里，每个组件都是预制好的，往往是在铸造车间用模具铸造的（我认为，这个铸造过程一点儿也不像胚胎发育）。然后，所有预制件都被送到装配线上，按照精心绘制的图纸，一步接一步地拧紧、铆接、焊接或粘接在一起。再一次重申，胚胎发育并没有哪些地方类似“事先制订的计划”。但是，胚胎发育仍与这种“将预制件依序组装在一起的过程”有相似之处，如同在一个汽车装配厂，将预先生产好的化油器、分配头、风扇皮带和汽缸盖汇集起来，并以正确的方式组装。

图42中是三种病毒。左边是烟草花叶病毒（TMV），主要寄生于烟草和其他茄科植物（如番茄）。中间是腺病毒，可感染许多动物的呼吸系统，包括我们人类。右边是T4噬菌体，寄生在细菌体内。T4噬菌体看起来像一个登月舱——其行为更像：首先“登陆”到细菌表面（对噬菌体而言，细菌的表面非常大），然后用它蜘蛛一样的“腿”使自身下降，再通过中空尾部刺入探针，穿透细菌的细胞壁，并注入它自己的DNA。然后，T4病毒的DNA就侵入细菌制造蛋白质的“机构”中，破坏该机构，使其转而制造新的子代病毒。图中另外两种病毒也

有相似的行为，尽管它们看起来或行为上并不像“登月舱”。不论什么病毒，它们的遗传物质都会侵入宿主细胞制造蛋白质的机构，挪用其分子生产线，大量制造子代病毒，而不是宿主细胞的正常产物。

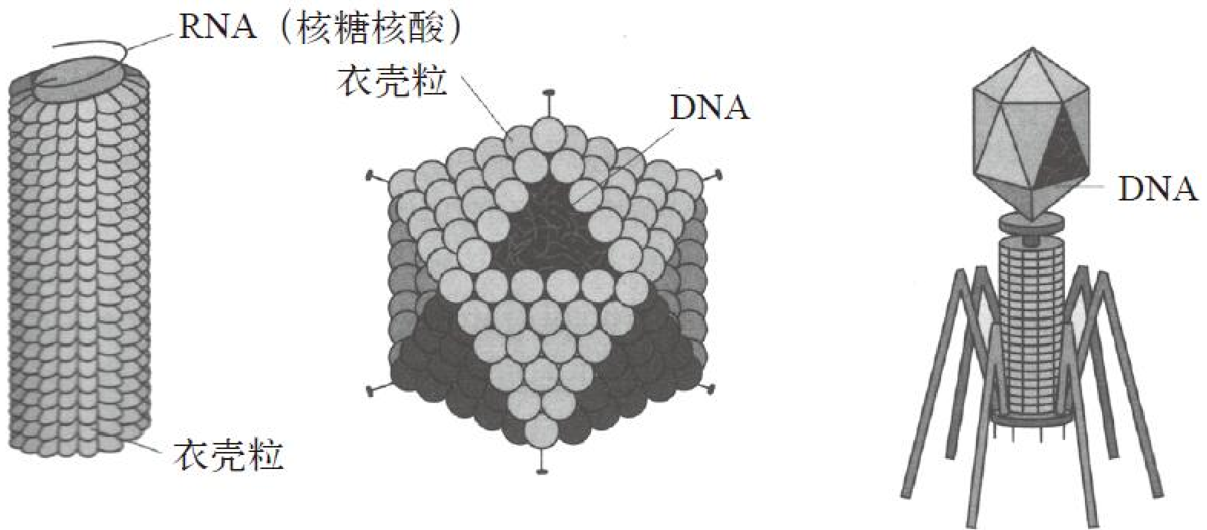


图42 三种病毒

你在图片里看到的大部分结构，是遗传物质的蛋白质容器，而对于（“登月舱”）T4噬菌体而言，是入侵宿主的机械装置。我们所感兴趣的是蛋白质结构的组装方式。事实上，这就是“自组装”。每个病毒都是由几个预先做好的蛋白质分子组装而成。我们将看到，每个蛋白质分子，都是在化学法则指导下得到它特有的氨基酸序列，并经过自组装，形成特征性的“三级结构”。然后，在病毒体内，蛋白质分子再次遵循区域性规则，彼此联合形成所谓“四级结构”。这一过程没有蓝图，没有整体计划。

这种像积木一样连接起来构成四级结构的蛋白质亚单位，被称作“衣壳粒”。请注意这些“小结构”在几何学上是多么完美。确切地说，图42中间的腺病毒有252个衣壳粒（图上画的小球）排列成一个二十面体。二十面体是由20个三角面组成的柏拉图式的完美固体。没有任何蓝图或总体规划让这些衣壳粒组成一个二十面体，只是当每一个衣壳粒与其他和它一样的衣壳粒碰撞在一起时，简单地遵循了其本身

化学吸力的法则罢了。晶体就是这样形成的，事实上，腺病毒可以被描述成一个非常小的中空晶体。病毒的这种“结晶”过程，是诠释“自组装”概念特别好的例子，而“自组装”正是我所宣扬的生物体构建自身结构的一个主要原则。T4噬菌体的“登月舱”也有一个二十面体作为它DNA的主要载体，但是它自组装的四级结构更复杂，需要根据各项不同的区域性规则，合并另外的蛋白质单元，来装配注入DNA的装置和与二十面体相连的“腿”。

由病毒的话题回到较大生物体的胚胎发育，我想谈谈我在人工技术中最喜欢的类比：折纸。折纸是具有创造性的艺术，在日本发展到最高水平。我唯一知道折叠方法的折纸创作是“中国帆船”。这是我父亲教我的，而我父亲是在1920年代学习折纸艺术的热潮席卷了他的寄宿学校时学的[注]。“中国帆船”有一个逼真的生物学特征——它的“胚胎发育”经过了几个中间的“幼体”阶段（这些阶段本身就是赏心悦目的创作），就像毛毛虫是一个美丽的、正走向通往蝴蝶之路的中间阶段，而毛毛虫和蝴蝶一点也不相似。从一张简单的正方形纸开始，只是折叠，从不剪裁、粘贴或者导入任何其他部件——在最终成为中国帆船“成体”之前，该过程需要经过三个特殊的“幼体阶段”：一个“双体船”、一个“内部有两个盖子的盒子”、一个“类似画框的结构”（图43）。用折纸作类比的合理之处还在于，当你第一次学习如何折一只中国帆船时，不仅是帆船本身，就连那三个“幼虫阶段”（双体船、盒子、画框）都是惊喜。用你的手就可以折纸，但需要强调的是，你并没有遵循“中国帆船”或是任何“幼虫阶段”的蓝图。你遵循的是一套折叠的规则，这些规则似乎都和最后的成品没有什么关联，直到成品最终像化蛹成蝶一样呈现。所以，折纸的类比抓住了一些与全局计划相反的“局部规则”的重要性，而不是一个全面计划。

同样支持折纸类比的是——折叠、内陷和内外翻转，这些都是胚胎组织在发育中惯用的手段。折纸与胚胎发育早期过程尤其相似。但

它也有缺陷，以下是两个特别明显的缺陷。第一，需要用人手来折纸。第二，发育的“纸胚胎”不会长大。它结束时和开始时的重量完全相同。鉴于这些差异，我有时会把生物胚胎发育称为“膨胀折纸”，而不仅仅是“折纸”而已。

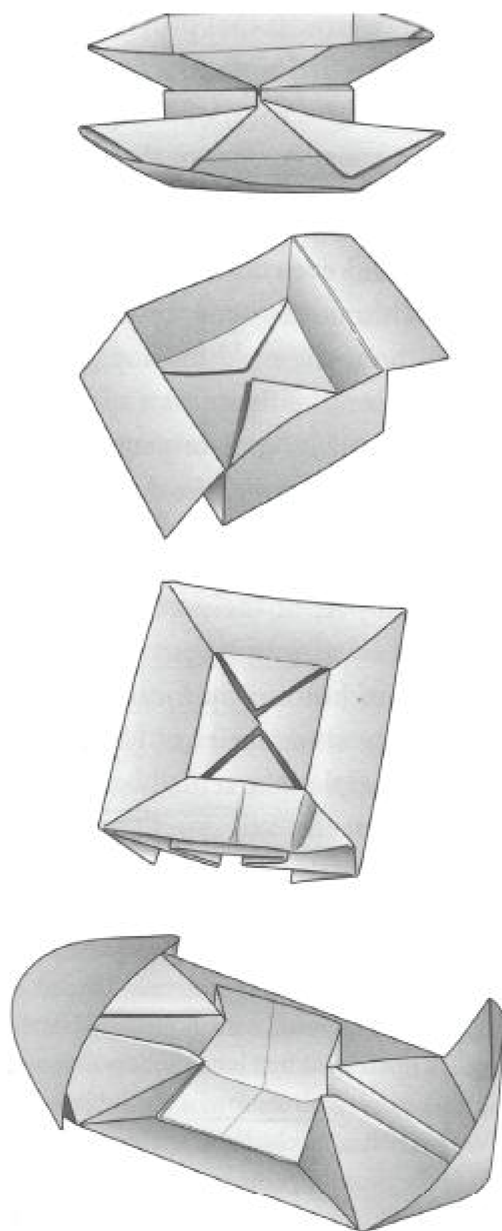


图43 中国帆船折纸的三个“幼体阶段”：“双体船”、“内部有两个盖子的盒子”、“框中画”

事实上，这两个缺点某种程度上相互抵消了。在一个正在发育中的胚胎里，折叠、内陷和内外翻转的胚层组织的确在生长，而恰恰是这种生长，提供了胚层运动的部分动力（折纸时，这部分动力是由人手提供的）。如果你想要做一个“活胚层组织的折纸模型”而不是“死纸模型”的话，至少还有一个可能性就是，如果胚层组织按正确的方式生长，但生长速度并不一致，而是胚层的某些部位快于其他部位，这就自然会导致胚层呈现出某种形状——甚至出现某种程度的折叠、内陷和内外翻转——不需要用手去拉伸和折叠，并且不需要任何整体计划，仅需要其地方规则。事实上，这不仅仅是一个可能性，因为它真的就是这样发生的。让我们称之为“自动折纸”。在胚胎发育中，“自动折纸”是怎么实际进行的呢？当胚层组织生长时，由于真实胚胎中细胞分裂的发生，“自动折纸”就发生了。胚层组织的不同部位由“局部规则”决定的细胞分生速度的不同，实现了差异性的生长。因此，通过一种迂回路线，我们回到了“自下而上”的局部规则，这一规则具有根本的重要性，与“自上而下”的整体规则相反。在胚胎发育的早期阶段，实际发生的就是这种简单原则的一系列“超级复杂版本”。

在脊椎发育早期的折叠是如何发生的呢？首先，单个受精卵细胞分裂成两个细胞。然后，两个分裂成四个，如此等等，细胞的数目迅速地一再倍增。在这个阶段，细胞的重量没有增长，体积也没有增大。实际上，受精卵原来的体积，已经像切蛋糕一样被切分了，我们最后得到了一个球状细胞群，和原来的受精卵一样大。它并不是一个实心球，而是空心的，我们称它为“囊胚”。下一阶段——“原肠胚”是刘易斯·沃伯特的一句名言的关键词：“不是出生、婚姻或死亡，而是原肠胚形成——这才是你生命中真正的最重要的时刻。”

原肠胚的形成就像一种微型地震，震动了整个囊胚表面，彻底改变了其整个形态。整个胚胎组织被大规模重组。而原肠胚的特征性变化，就是空心球体囊胚的内陷，从而变成了对外界开口的两个胚层

（见图47中的计算机模拟图）。“原肠胚”外侧的胚层称为“外胚层”，内侧的称为“内胚层”，同时也有一些细胞进入内外胚层之间的空间，称为“中胚层”。每一个原始胚层都注定形成生物体的一些主要部分。例如，表皮和神经系统来源于外胚层；消化道和其他内部器官来源于内胚层；而中胚层则形成肌肉和骨骼。

胚胎折叠的下一个阶段称为“神经胚”。图44的示意图，展示了一个两栖类动物正在形成的神经胚背面中间的横截面（它可能是一只青蛙或蝾螈）。那个黑圈代表“脊索”（notochord），是作为脊椎骨前体的一根日益变硬的杆。“脊索”是脊索动物门的特征，我们人类和所有脊椎动物属于脊索动物门（虽然像大多数现代的脊椎动物一样，我们只在胚胎期有脊索）。正如原肠胚一样，神经胚形成过程中，胚层内陷更加明显。你还记得我说过，神经系统来源于外胚层吧。那么，下面就要讲胚层如何内陷并形成神经系统。外胚层内陷的一部分（这部分沿身体逐渐向后，像拉链一样）自卷成管状，“拉链”两侧聚合，最终贯穿位于外胚层和脊索之间的整个身长。这根“管”注定会发育成脊椎——生物体神经系统的主要部分。它的前端膨胀发育成脑。随后，这根原始的“管”通过细胞分裂，形成其余所有的神经[注]。

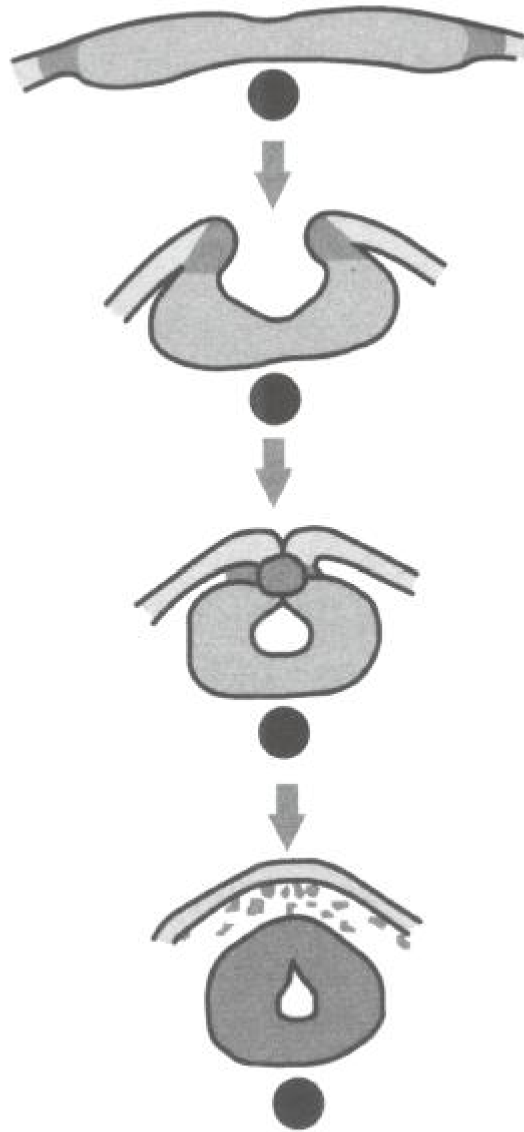


图44 神经胚的形成

我只想说“用‘折纸’比喻神奇的原肠胚和神经胚发育确实贴切”，而并不想探讨两者发育的细节。我关心的是，“充气折纸”展示出的胚胎复杂化发育的基本原则（如图45所示）是组织细胞层在胚胎发育过程中（例如原肠期）能被观察到的发育事件之一。你可以轻松观察到，作为“充气折纸”的一个有用的步骤——“内陷”是如何发生的，而且，“内陷运动”确实在原肠胚和神经胚的发育中，扮演着重要角色。

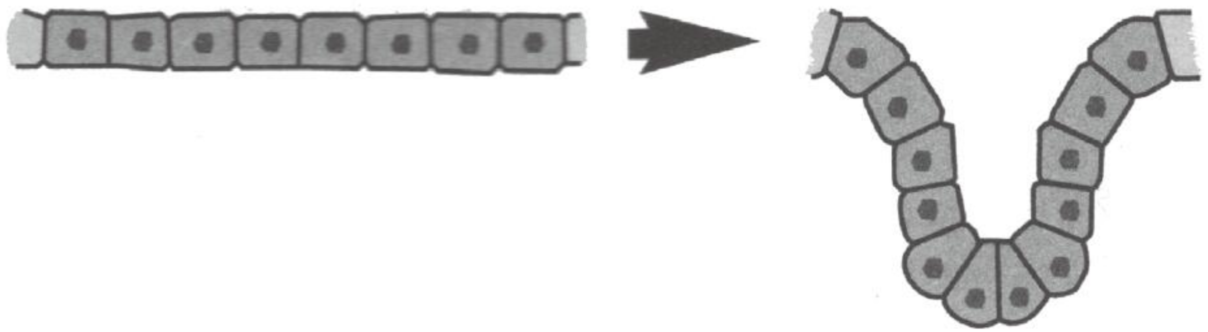


图45 一层组织细胞发生内陷

原肠胚和神经胚形成于发育初期，并且影响了整个胚胎的形状。内陷和其他“充气折纸”操作实现了胚胎发育的早期阶段，并且，这些技巧和其他类似技巧亦涉入后来的发育过程，塑造像眼睛和心脏这样的特化器官。但是，鉴于并没有“手”完成“折叠”的动作，那么，是什么机制实现了这些动态运动呢？就像我已经说过的，部分地是通过简单的扩展运动本身。细胞都通过“一个”组织层进行繁殖。因此，它的面积增加，又无处排遣，除了弯曲或内陷，它已经几乎别无选择。但是，这个过程需要更多的控制，并已经被加州大学伯克利分校著名的数学生物学家乔治·奥斯特（George Oster）及其团队的科学家一起破译了。

---

1. 这股热潮熄灭了，但我在1950年代，再度把它引入同一所学校，于是它就像同一疾病的第二次疫情暴发一样蔓延开来。

2. 我很抱歉，我在这里没有解释为什么脊索呈“h”字形，像一个音乐或数学的和弦，而脊髓却不是这样，而是有点像一个串。我一直觉得这很神秘，甚至怀疑它是否可能代表一些长期被遗忘但已固定的错误。诚然，《牛津英语词典》列举“弦”（chord）作为一个“串”（cord）的替代拼写，但这种差异似乎很奇怪，因为脊髓和脊索延展在整个胚胎的体长，一个在另一个的上面。

模拟欧椋鸟集群的细胞群

奥斯特及其同事们遵循的策略，与我们的相同——就是我们在本章前面讨论过的计算机模拟欧椋鸟集群行为的策略。他们为单个细胞设计程序，而不是为整个囊胚的行为编程。然后，他们“克隆”了大量细胞，每个细胞都一样，并留心观察当那些细胞在计算机里聚集在一起时会发生什么情况。当我指出“他们编写了单细胞的行为”时，还不如说“他们编写了单细胞的数学模型”，建立了基于单个细胞的某些已知实际情况的简化模型。特别是，已知细胞内部微丝纵横交错，类似微型松紧带，而且这些微丝拥有能像颤搐的肌肉纤维一样主动收缩的附加属性。的确，微丝和肌肉纤维遵循同样的收缩原则[注]。为了方便在电脑屏幕上绘图，“奥斯特模型”把细胞简化成了二维，并且仅保留了6条纤维，将它们巧妙地放置在细胞里（如图46所示）。在计算机模型中，所有微丝都被赋予某些量化性能：一个“黏性阻尼系数”，一个“弹力系数”（对于物理学家而言，这些名词具有特殊含义）。我们不必介意这些数据的确切含义：它们是物理学家在测量弹簧弹性时喜欢测量的某种数据。尽管在真实的细胞里，许多纤维都可能具有收缩能力，但奥斯特及其同事们只将收缩能力赋予6条纤维中的1条，以此简化问题。如果他们在去除单个细胞的某些已知特性后，仍可以得到真实的结果，那么利用一个保留了那些复杂特性的模型大概能得到至少一样好的结果。他们并不允许模型中唯一的收缩纤维随意收缩，而是为它设置了一个性质——在某些种类的肌肉纤维里普遍存在的一个性质：当纤维被拉伸超过某个临界长度时，纤维将收缩到比正常平衡时更短的长度。

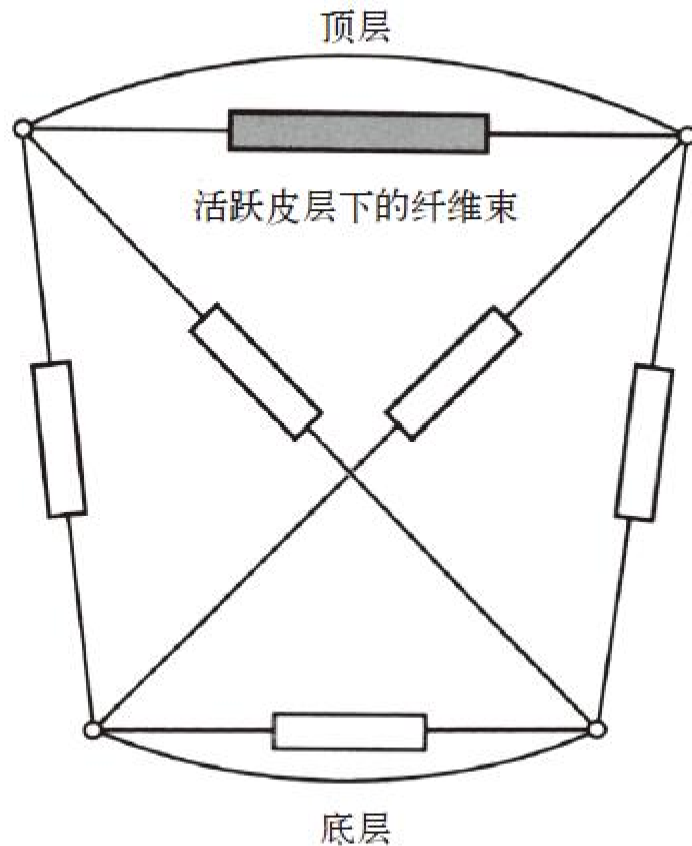


图46 奥斯特细胞模型里的微丝

于是，我们拥有了一个“单细胞模型”——一个极度简化的模型：一个二维框架内含6根“弹簧”，其中1根具有特殊性能，可用“积极收缩”应答“外部强加的伸展”。这是“建模”过程的第一步。第二步，奥斯特及其同事们“克隆”了几十个他们的“细胞模型”，并使它们排成一个圆圈，就像一个二维的囊胚。然后，他们针对一个细胞，用力拉它的收缩纤维，使其收缩。接下来所发生的事情，简直奇妙到令人拍案叫绝。那个囊胚模型形成了原肠胚！下面展示的是6张发生变化的屏幕截图（图47a到f）。一个“收缩波”从那个被刺激的细胞向两侧传播，并且“球形”的细胞群也不由自主地发生了内陷。

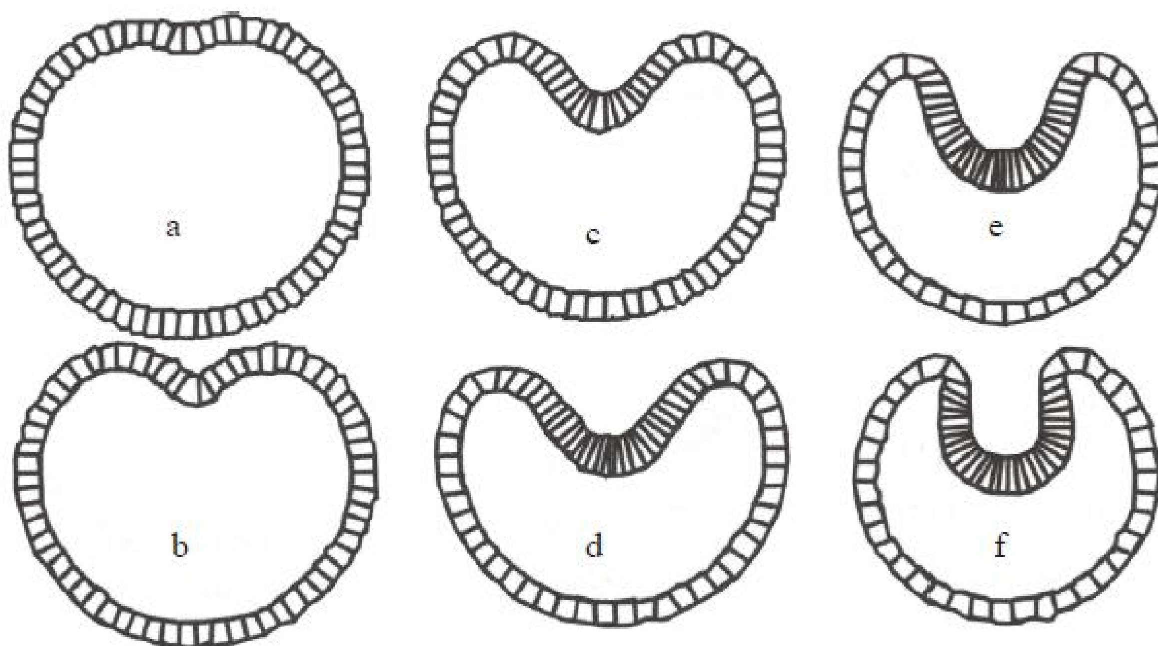


图47 奥斯特模型的囊胚原肠胚化

还有更妙的。奥斯特及其同事们尝试通过实验，降低计算机模型中弹性纤维的反应阈值。这样做的结果是："内陷波"传递得更远更深了，事实上，"内陷波"使其被"捏"成了一根"神经管"（见图48，计算机屏幕截图a到h）。理解"像这样的模型所展示的究竟是什么"很重要。它并不是"神经胚"形成过程的精确呈现。撇开"它是二维的"和"它在许多其他方面是简化的"这两个事实不谈，处于神经胚"萌发态"的细胞球（图47中屏幕截图a）并不是一个（实际发育中应形成的）两层的"原肠胚"。原肠胚形成的模型和我们上面提到的囊胚过程，起始点是一样的。这都没有关系：我们并不奢望模型能在每个细节上都完全精确。无论如何，模型仍向我们展示了，模拟早期胚胎细胞的多种行为是多么的容易。事实上，尽管模型比真实情况要简单，但"二维的细胞'球'对刺激的自发应答"这个事实反而成了更有力的证据。这使我们消除了疑虑：早期胚胎发育演化的各个步骤并不一定总是那么困难。请注意，模型是简单的，它所演示的现象则是复杂的。这正是优秀科学模型的特点。

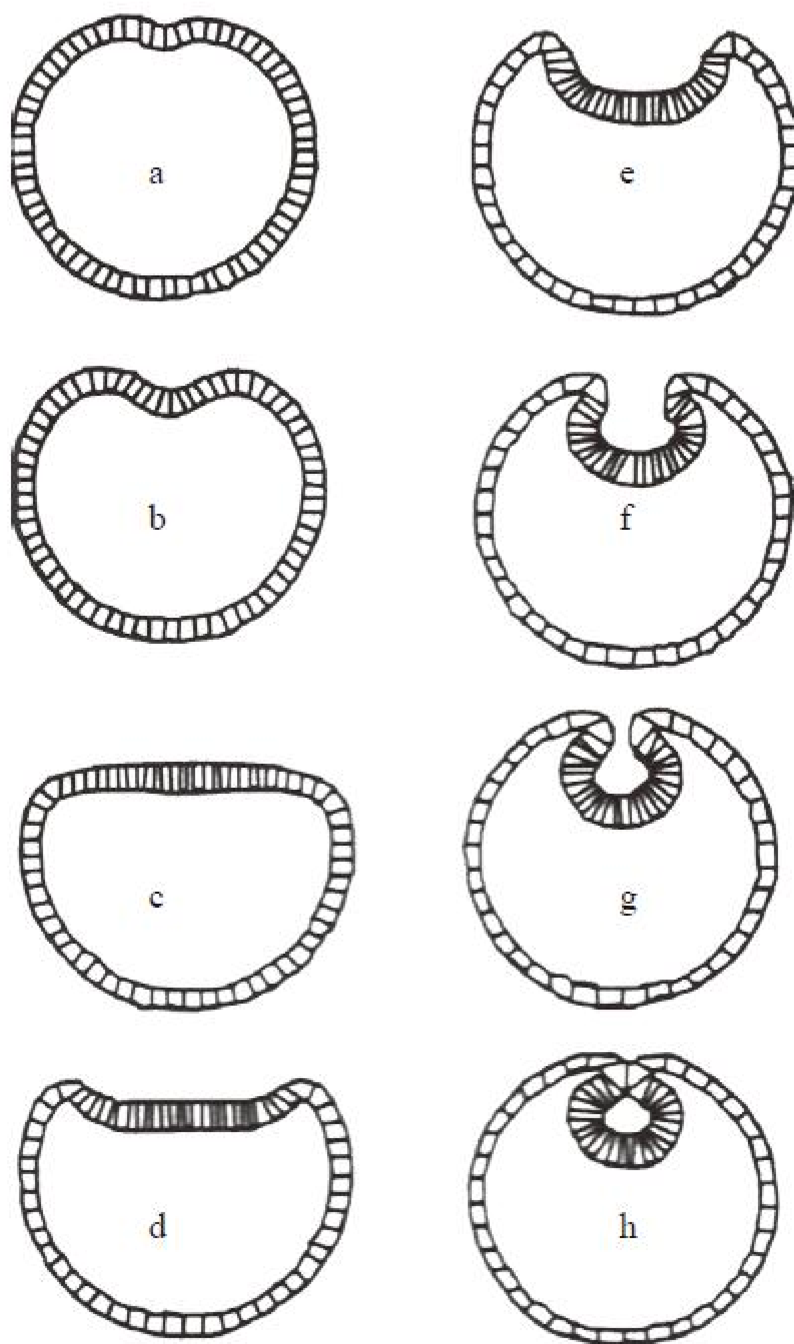


图48 奥斯特模型中神经管的形成过程

我对奥斯特模型的详细说明，是为了表明一类一般性原则——“在无任何蓝图描绘整个生物体的情况下，单个细胞能通过与其他细胞相互作用来构建生物体”。像折纸一样的折叠、奥斯特式内陷和掐捏——这些就是构建胚胎时一些最简单的技巧。其他更精致的技巧将

在随后的胚胎发育中发挥作用。例如，设计巧妙的实验已经表明，当神经细胞从脊髓或大脑“长出”后，它们通过化学吸引找到通向它们靶器官的通路，并不遵循任何种类的总体规划，而是像一只公狗在交配季节找母狗那样四处嗅寻。由诺贝尔奖获得者、胚胎学家罗杰·斯佩里（Roger Sperry）做的一个早期经典实验，完美地阐明了上述原则。斯佩里和一个同事取了一只蝌蚪，并去除了其背部的一小块方形皮肤。他们也移除了蝌蚪腹部一块同样大小的皮肤。然后，他们将两块皮肤对调移植：腹部的皮肤移植到背部，背部的移植到腹部。当那只蝌蚪长成一只青蛙时，结果相当奇妙（胚胎实验往往是这样）：它阴暗、斑驳的背部中间，“贴有”一块儿整洁的白色腹部皮肤“邮票”；另一块儿斑驳的黑色背部皮肤“邮票”，则整齐地贴在白色的腹部中间。现在，该说故事的重点了。正常情况下，如果你用一根硬毛挠青蛙的背部，青蛙就会用一只脚挠发痒的地方，就好像要赶走一只恼人的苍蝇。但是，当斯佩里挠实验青蛙背部的“白色邮票”时，那只青蛙居然挠了腹部！同样，当斯佩里挠它腹部的“黑色邮票”时，它却挠了背部。

根据斯佩里的解释，在正常的胚胎发育中所发生的是：一些神经轴突（长“电线”，每一根都是单个神经细胞的窄管状延伸）从脊髓探寻着长出，像狗一样“嗅闻”着，寻找腹部皮肤。其他从脊髓长出的轴突，则寻找背部皮肤。正常情况下，这种发育会得到正确的结果：挠背部皮肤感知到的好像就是背部，而挠腹部皮肤感知到的好像就是腹部。但是，在斯佩里的实验青蛙身上，一些神经细胞寻找腹部皮肤时，找到了“贴”在背部的腹部皮肤的“邮票”——大概是因为它“闻起来”是对的。背部“邮票”的情况也一样。那些在一定程度上相信“白板论”（*tabula rasa* theory）的人们，必然会惊异于斯佩里的结论（“白板论”认为：我们出生时思想都是“白板”，后来被经验所填充）。他们本会预期，青蛙会从经验中学会用其自己的方式来感知自己的皮肤——将皮肤上正确的感觉与正确的部位相关联。事实刚好相反，脊髓中的每个神经细胞似乎在与正确的皮肤接触之前

就已经被标记为是腹部或背部的神经细胞。每个神经细胞，后来都会找到它被指定的皮肤靶点——无论这皮肤在哪儿。如果一只苍蝇爬过整个背部，斯佩里的实验青蛙大概会感受到一种错觉——那只苍蝇突然从背部到腹部，爬远了一点儿，然后又瞬间跃回了背部。

这类的实验，使斯佩里阐明了他的“化学性吸引力”（chemo-affinity）假说——根据这个假说，神经系统的布线，并不遵循总体规划的蓝图，而是通过单个轴突，依靠一种特殊的“化学性吸引力”搜寻靶器官。再一次地，我们看到了遵循局部规则的“局部单位”。细胞一般布满了“标签”（化学识别卡），使它们能够找到自己的“伙伴”。我们可以回到“折纸类比”，找到另一处“标签原则”发挥作用的地方。人类折纸一般不用黏合剂，但是也可以用。而胚胎“折纸”，确实用了等价于黏合剂的东西，凭借它，动物的身体才能把它们自己的细胞聚在一起。确切地说，是用了很多“黏合剂”这才使得标签技术得以大显身手。细胞的表面有一套复杂的粘附分子，可以黏接其他的细胞。在生物体所有组成部分的胚胎发育中，这种“细胞黏合剂”发挥了重要作用。然而，这种“黏合剂”和“我们所熟悉的‘黏合剂’”之间存在着显著差异。可对我们来说，黏合剂就是黏合剂。有些黏合剂，黏性比其他的强；有些黏合剂，作用速度比其他的快；有些更适合用在木料上，而其他黏合剂用在金属或塑料上更好。但普通黏合剂的多样性，也就仅限于此了。

细胞粘附分子与普通黏合剂相比，要巧妙得多。你也可以说，细胞粘附分子更加“挑剔”。我们的人工黏合剂可作用于绝大多数的物体表面，细胞粘附分子则不同，它只结合特定的、正确种类的其他细胞粘附分子。脊椎动物中有一类粘附分子——钙粘蛋白，目前已知的钙粘蛋白种类大约有80种。除了少数例外，这80种左右的钙粘蛋白仅仅结合与自己同种的蛋白。让我们暂时忘掉黏合剂吧：一种儿童寻伴游戏可能是一个更好的类比——每个孩子被指定为一种动物，且都要在房间里绕圈转，同时发出像自己被指定的动物一样的叫声。每个孩

子都知道，只有另外的“一个”小朋友和自己指定了一样的动物，因此，她必须从各种模仿农场动物的声音中，听出并找到自己的伙伴。钙粘蛋白的作用方式与此类似。也许，像我一样，你也可以依稀想象：细胞表面关键位点上掺杂的特殊钙粘蛋白能怎样地使胚胎“折纸”的自组装实现精致性与复杂化。再一次请注意，这并不是暗示有任何的全局计划，而是各种“局部规则”的零星集合。

---

1. 这个故事说起来非常有趣。剑桥大学的著名生理学家李约瑟（Joseph Needham）为人博学，因被称为中国科技史研究的领衔专家而变得更加有名。他的侄子恰好是我们当时的实习老师。甚至在李约瑟先生受其侄之邀来我的学校演示这一模型之前，模型就已经存在于我的想象中。这一裙带的恩惠至今令我感激不已。在李约瑟博士指导下，我们审视着自己显微镜下的肌肉纤维，当我们减少其ATP（三磷酸腺苷，身体的能量通货）时，看到它们仿佛被施了魔法一样收缩。

酶

我们已经看到了在塑造胚胎的过程中，整个细胞组织表面如何“玩”折纸游戏，现在让我们深入到一颗细胞内，在那儿，我们将会发现，它和胚胎用同样的原则进行“自我折叠”（self-folding）和“自我皱化”（self-crumpling），但其规模尺度要小得多——小到单个蛋白质分子。蛋白质极其重要，我必须花时间来解释它为什么这么重要——从一个戏谑的推测开始，来颂扬蛋白质独特的重要性。我喜欢推测——在宇宙其他地方，我们所期待的“生命”会是多么古怪、多么不同于人类，但是我同样揣测——有一两件事，在任何可能发现生命的地方都是普遍存在的。那就是：所有生物都将通过一个与“对基因的达尔文式自然选择”相似的过程而进化。并且，这个过程很大程度上依赖于蛋白质，或像蛋白质一样能够自我折叠成非常多种形状的分子。蛋白质分子是精通“自动折纸工艺”的大师，其工作的尺度远小于我们迄今讨论的细胞层。蛋白质分子展示了当在“局部性尺度”遵循“局部规则”时，所能达到的耀人眼目的成就。

蛋白质是由更小的分子组成的链条（更小的分子叫作氨基酸），并且这些“链条”就像我们之前谈论的组织细胞层，也是通过非常确定的方式进行“自我折叠”的，但规模要小得多。在天然蛋白质中，仅有20种氨基酸“曲目”（选自一个远为庞大的可能组成该蛋白的氨基酸大集合），而每一个蛋白质都是从这20种氨基酸中选出并穿起来的“链”（这一点在外星球上可能会有所不同）。现在，轮到“自动折纸”了。仅靠化学和热力学的法则，蛋白质分子就能自动自发地弯曲，成为具有三维结构的准确形状，我几乎要说是“结”（knots），但和盲鳗不同，蛋白质真的不会把自己“绑成结”（如果可以，我真

想写出这个实在无关紧要，但却生动有趣的现象[注]）。蛋白质的链通过折叠和弯曲所形成的三维结构，叫作“三级结构”（我们在谈论病毒的自组装时曾提到过）。任何给定的氨基酸序列，决定一个特定的折叠模式。遗传密码的“字母”顺序决定了氨基酸序列，氨基酸序列决定了三级模式的形状[注]。继而，三级结构的形状就有了极为重要的化学影响力。

使蛋白质链自我折叠和盘绕的“自动折纸”行为，遵循的是化学吸引法则，而这些法则决定了原子相互结合的角度。请想象一条形状古怪的磁铁项链。这条“项链”可不会在一个柔美的脖子上挂成一个优美的链形。它呈现另一种形状——磁铁珠之间彼此吸引、纠缠不清，并沿着链条上各种各样的凹槽和裂缝彼此嵌入。与蛋白链不同，这种缠结的准确形状是不能预测的，因为任一“磁铁”都会吸引其他任一“磁铁”。但它确实使人想到，氨基酸链是如何自发形成复杂的“结”状结构，看上去也许不会像一条链条或项链。

关于化学法则如何决定一个蛋白质三级结构的细节，我们仍未完全了解：化学家还不能在所有情况下都推断出“一条给定的氨基酸序列，将会发生怎样的盘绕”。虽然如此，我们仍有很好的证据，可以证明三级结构“原则上”是可以从氨基酸序列推测出来的。“原则上”这个词组并没有什么神秘的。没人可以预测一只骰子会怎么落下，但是我们都相信，这完全精确地取决于骰子是怎么抛出的，加上一些额外因素，比如风的阻力等。这是一个可证的事实：一个特定的氨基酸序列总是盘绕成某个特定的形状，或一组可供选择的不同形状中的某一个（见上页脚注）。然而，对于进化，重要的一点在于：氨基酸的序列是完全由基因中的三联体“字母”按照遗传密码规则而决定的。尽管对于人类的化学家们来说，要预测“由一个特定基因突变而导致的蛋白质形状变化”并不容易，但这仍是一个事实——一旦一个突变发生，原则上对于将要导致的蛋白质形状变化是可以预见的。同样的突变基因，必将产生相同的蛋白质形状改变（或离散的形状中

另一可选的形状），而这正是自然选择的关注点。自然选择不需要理解“为什么一个基因的改变会产生某种影响”。自然选择只需要知道“一个基因的改变会有影响”就足够了。如果这样的改变会影响生存（不论我们是否理解这个基因影响蛋白的确切方式），变异的基因本身都将在抢夺基因库“主导权”的竞争中论成败。

既然蛋白质的形状非常多样化，并且这种多样性是由基因决定的，那么为什么蛋白质极其重要呢？一部分原因是，生物体内的某些蛋白质，具有直接的构型作用。纤维蛋白（例如胶原蛋白）聚在一起形成结实的“绳子”，就是我们称作“韧带”和“肌腱”的结构。但是大部分蛋白质并不纤维化。与此相反，它们自我折叠，形成具有它们自身特性、带有微小凹槽的球形结构，这种形状决定了该蛋白质的特殊角色——它们是一个“酶”，一种催化剂。

催化剂是一种化学物质，能够成十亿倍，甚至万亿倍地加速其他物质之间的化学反应，而完成催化后，催化剂“本身”则毫无损伤地脱离反应过程，又能自由地做催化剂。酶，是蛋白类催化剂，由于其“特异性”而成为催化剂里的冠军：它们非常挑剔，要求精确匹配所催化的化学反应。或者我们可以反过来说：活细胞中的化学反应，非常挑剔催化它们的酶。在许多细胞中，化学反应进行得非常慢，在没有正确的酶的时候，可以说事实上它们根本就不发生反应。一旦有了正确的酶，它们就反应得非常快，并且可以生成大量产物。

我愿意这样来表达：化学实验室里，架子上有数以百计的小口瓶和广口瓶，每个瓶子都盛放着一种不同的纯净物：化合物或元素、溶液或粉末。当一个化学家希望完成某个化学反应时，就选择两个或三个瓶子，从每个瓶子里取出一些样本，在一个试管或烧瓶中混匀，也许还要加热，然后，反应就发生了。同时，其他化学反应并未在实验室发生，因为小口瓶或广口瓶的玻璃屏障阻止了药品之间的接触。如果你想调配一个与此不同的化学反应，你就要在另一个烧瓶中混合与

此不同的药品。这个化学实验室里到处都是玻璃屏障，使在小口瓶或广口瓶里的纯净物彼此隔离，并维持试管、烧瓶或烧杯中正在进行的反应组合彼此隔离。

活细胞也是一个巨大的化学实验室，其中储藏着同样丰富的化学品。但是，这些化学品并没有存放在架子上的小口瓶或广口瓶里。它们都是混在一起的。就好像是一个蓄意破坏者、粗暴的化学暴君进入了实验室，抓住架子上所有的瓶瓶罐罐，毫无章法地把它们倾倒进一个大锅。要发生什么可怕的事情了吗？好吧，如果所有可能发生的反应都一起发生，那将会很可怕。但是，它们并没有互相反应。或者说，虽然它们发生反应了，但是它们共同反应的速度太慢，简直就可以说完全没有发生反应。除非，有一个酶出现——这是“关键”。在活细胞里，并不需要“小口瓶”或“广口瓶”来隔离物质，因为无论如何，它们根本就没有任何意图和目的要去发生反应——除非有“正确的酶”出现。这种情况，就相当于将化学药品保存在塞瓶里，直到你想要混合特别的一对反应物（就说A和B吧）——这等于把上百种物质全都混合到一位大巫师的溶剂里，但是只提供能使A和B发生反应的合适的酶，而不提供酶给其他组合。事实上，这个隐喻——“毫无章法地翻打瓶子的蓄意破坏者”有点儿离谱。但细胞中确实含有一种叫作“膜”的“基础设施”，化学反应在膜与膜之间或膜内发生。从某种程度上说，这些“膜”，扮演着试管和烧瓶之间“玻璃隔离物”的角色。

本章这一节的重点就是——“正确的酶”主要是通过其实体形状保持其“正确性”的（这一点很重要，因为实体形状取决于基因，而自然选择最终嘉惠或膺惩的对象是基因的变异）。大量分子一直都在漂流、扭曲、旋转着穿梭在细胞内的细胞液中。物质A的一个分子可能很乐意与物质B的一个分子发生反应，但是只有当它们以完全正确的方位彼此相遇时才行。重要的是，这种情况很少发生——除非有正确的酶介入。酶的精确形状，是它把自己像磁铁项链一样折叠起来才形成

的，并留有“凹痕”和“孔洞”，每一个都有其本身精确的形状。每个酶都有一个叫作“活性部位”（active site）的位点，这常常是一个特别的“凹痕”（dent）或“口袋”，其形状和化学性质赋予了酶“专一性”。凹痕一词没有充分表达“专一性”这一机制的精确程度。也许，用“电源插座”作类比会更好。在我的朋友——动物学家约翰·克雷布斯（John Krebs）所称的“插头大阴谋”中，世界各国对插头和插座令人不快地采取了不同的、任意的标准。英国的插头不能插入美国的插座，或法国的插座。蛋白质分子表面的活性位点就相当于“插座”——只有某些分子可与之匹配。然而，在世界各地的“插头大阴谋”仅仅动用了6种不同形状（这足以给旅客造成不断的烦恼），酶拥有的不同类型的“插座”则要远多于6个。

想象一种特别的酶，可以催化P和Q两种分子发生化学结合，形成化合物PQ。“插座”活性位点的一半刚好可以安置一个P型的分子，就像一片拼图。而这个“插座”的另一半，和一个Q型分子的形状精确吻合，使其插入——面向完全正确的方位，与已经在那儿的P分子产生化学性结合。通过酶分子协助配对，它们共享了该酶的同一个凹槽，牢固地保持了彼此之间的正确角度，然后P和Q实现了结合。在这之后，新的化合物PQ，脱离活性位点，进入细胞液，空出酶分子上的活性凹槽，使其可以撮合另一个P和另一个Q分子。一个细胞可能充满了成群同样的酶分子，都像汽车厂里的机器人一样连续工作，在细胞里合成的PQ数量也相当于自动化生产线规模。把另一个不同的酶放入相同的细胞，而它将会协助合成另一个不同的产物，可能是PR、QS或YZ。尽管可利用的原料是相同的，但最终产物不同。其他类型的酶与合成新的化合物无关，但与分解旧的化合物有关。一些这种类型的酶会在消化食物时起作用，它们也被用于制造“‘生物’洗衣粉”。但是，由于这一章是关于胚胎建造的，我们这里主要关心的是建设性的酶——新化学合成物的合成中介。我将一个这样的行为过程展示在彩页第12页。

对你而言，问题出来了："凹槽拼图"和"插座"的例子都解释得非常好——高度专一的活性位点可以万亿倍地加速某一特定的化学反应；但是，这听起来难道不是过于异想天开？酶分子"恰如其分的形状"是如何从一个"不太完美的开始"演化而来的呢？随意塑造的"插座"有多大可能性，能拥有恰到好处的造型、恰到好处的化学性质，来安排P和Q两种分子的结合，巧妙地令它们以恰好的角度相遇？如果你想到的是"已被完成的拼图"，或者"插头大阴谋"，那么这种可能性实在不大。你要想的是——这是个"平滑、梯度式的优化过程"。正如我们屡屡面对在进化中会出现的非常复杂和非常不可能的谜题时，假设"它总是呈现为我们今天所见的最终完美样式"就是一个谬论。完全定型、高度进化的酶分子，被完美地精心制作成完全正确的形状，可使它们所催化的反应加速达到万亿倍。但是，为了得到自然选择的"偏爱"，你一开始并不必加速万亿倍。百万倍就好了！上千倍也不错。甚至十倍或两倍，就足以得到自然选择的青睐。酶性能的形成，是一个平滑的梯度式优化过程，都是从几乎没有凹痕开始，经过一个粗具凹痕的中间过程，直到形成完全正确的"插座形状"和化学特征。"梯度"意味着每一步都是一次明显的优化，无论是多么微小的变化，都好过前一个状态。而对于自然选择来说，一次"明显的优化"可能指的是"比能够引起我们注意的最小值还要小"。

所以，你看它的工作方式——多么精妙！一个细胞就是一个万用化工厂，能够"喷涌"出大量各种各样不同的物质，选择由酶作出，即"哪一个酶出现，哪一个反应就会发生"。这个"选择"是如何作出的？答案是：通过启动对应的酶基因。正像细胞是一个充满许多化学物质的"大桶"，其中只有很少的物质可以彼此反应，同样，每一个细胞核都包含了整个基因组，但是只有少量基因是开启的。当一个基因在某个细胞中处于"开启"状态（比如说在一个胰腺细胞中），它的密码子序列直接决定了一个蛋白质的氨基酸序列；氨基酸序列决定了蛋白质自我折叠的形状（还记得磁铁项链的样子吗）；蛋白质自

我折叠的形状决定了“插座”的精确形状，使游离在细胞里的物质与之结合。除了极少数例外的细胞（如缺乏细胞核的红血球），每个细胞都含有制造所有酶的基因。但是，在任何一个细胞里，在某个时间都只有少数基因是开启的。比如说甲状腺细胞中，用于催化制造甲状腺激素的酶，是开启的。相应地，所有其他种类的细胞也都是这样。最终，一个细胞内进行的化学反应决定了该细胞成形的方式、行为方式以及该细胞和其他细胞相互作用参与“折纸”的方式。所以，整个胚胎发育的过程，是由基因通过一系列复杂事件而控制的。正是基因决定了氨基酸序列，决定了蛋白质三级结构，决定了活性位点的“插座样的形状”，决定了细胞的化学性质，决定了胚胎发育中“欧椋鸟式”的细胞行为。所以，在一系列复杂事物链条的源头，基因的不同可以导致胚胎发育方式的不同，并因此导致成体的形态和行为的不同。生存和繁殖成功的成体反馈到基因库，有利于其中造成成功的基因的生存。这就是自然选择。

胚胎学看起来复杂，也确实复杂——但很容易抓住重点，那就是我们始终在面对“局部自组装”的诸过程。现在，有一个独立的问题：考虑到所有（几乎所有）的细胞含有所有的基因，在每一种不同的细胞中，它又是如何决定启动哪些基因的呢？我现在要简明地论述这个问题。

---

1. 盲鳗的腹侧有一排黏液孔，里面有一粒粒肉眼可见的黏液腺，当它遇到危险时，便会大量分泌黏液使掠食的鱼类胃口尽失。可是当险境安度，身体黏黏的也挺难受的，这时盲鳗便会利用“打结”的行为去除黏液，也就是将整个身体先打个“结”，再将“结”往身体后方逐渐推送，自然而然黏液就去除了。盲鳗的这种行为还可以用于取食或从捕食者口中脱身。——译者注

2. 这句表述需要一个重要的保留。由基因决定氨基酸序列确实是绝对的，但由一维的氨基酸序列决定三维形状却不是绝对的，而且一维的氨基酸序列真的和三维形状有关。有些氨基酸序列，能够弯卷成两个可互相替代的三维形状。例如，有种蛋白质叫作“朊病毒”，就有两个稳定的形状。这两种不相干的替代形状之间没有稳定的中间体，就像电灯开关具有开和关两种状态，但无中间态。这种“开关型蛋白质”可能是灾难性的，也可能是有用的。以朊病毒的情况来说，它们是灾难性的。“疯牛病”使一种大脑中有

用的蛋白质（一个正常的细胞膜组成蛋白）刚好有了另一种替代形式——以自动折纸方式折叠其本身产生的替代形式。这“另一种形式”通常是从不出现的，但如果它以一个分子出现，就会触发邻近的分子跟风：它们将它复制和翻转成这种替代形式。就像推倒多米诺骨牌形成的“波”，或者像不负责任地散布谣言——朊病毒的替代形式在脑内迅速传播，给奶牛带来灾难性后果——或是让人得克雅氏病，或是让羊得痒病。但有时，具有可将自己以自动折纸方式折叠成一种以上替代形状的能力的分子是非常有用的。我们不需抛开电灯开关的比喻，就能找到一个漂亮例子。视紫红质（Rhodopsin）是我们的眼中负责感光的一个蛋白质，具有一个嵌入的组件被称为视黄醛（其本身不是一种蛋白质），当被一个光子击中时，其主要的稳定结构就会翻转成其替代结构。然后，又迅速恢复，就像电灯开关上安装有一个节省电费的定时器，同时这个弹跳记录在大脑中：“在这一精确位点检测到了光线。”法国生物学家雅克·莫诺（Jacques Monod）写了一本极好的书——《偶然与必然》（*Chance and Necessity*），很好地介绍了这种双稳态的开关分子。

接下来，尝试用线虫说明

一个给定的基因，在给定的细胞、给定的时间里是否表达，取决于细胞的化学环境，并通常都经由一连串被称作“开关基因”（switch genes）或“调控基因”（controller genes）的其他基因控制。尽管甲状腺细胞和肌肉细胞等拥有相同的基因，但它们之间有很大差异。你可能会说，这都很好，一旦胚胎开始发育，不同种类的组织（例如甲状腺和肌肉）都已经存在了。但是每一个胚胎，都是由一个单细胞开始（发育）的。甲状腺细胞和肌肉细胞、肝脏细胞和骨骼细胞、胰腺细胞和皮肤细胞，所有的细胞，都通过一个系谱，出自“一个”受精卵细胞。这是一个细胞系谱，最远可以追溯到受孕的时刻，与在其他章节屡次出现的可以追溯千百万年的进化树无关。让我告诉你，例如，由新孵化的秀丽隐杆线虫（*Caenorhabditis elegans*）幼虫全部的558个细胞组成的完整系谱（图49：请注意这张图中的每一个细节）。顺便说一下，我并不知道这个小虫子凭什么获得了“秀丽”的种名（*elegans*），但是我可以想到一个很好的理由用来说明——为什么它本就值得将这个种名缀在其后。我知道有读者不喜欢我跑题，但以秀丽隐杆线虫为研究对象所取得的成果是如此震撼人心，因此，你别想阻止我。

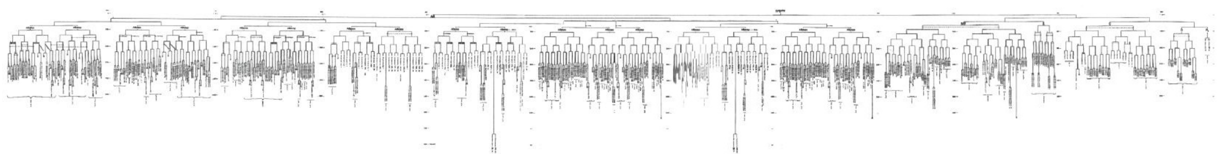


图49 秀丽隐杆线虫细胞的家谱

1960年代，秀丽隐杆线虫被才华杰出的南非生物学家悉尼·布雷内（Sydney Brenner）选中作为理想的实验动物。最近，他和剑桥大学的弗朗西斯·克里克（Francis Crick）及其他人一起，完成了破解遗传密码的工作，正在寻找待解决的新的大课题。他富有灵感的选择，和他自己在遗传学和神经解剖学上的开创性研究，已使得全球秀丽隐杆线虫的研究者人数增加到了数千人。略带夸张地说，今天我们已经知道关于秀丽隐杆线虫的每一件事。我们知道它的全基因组。我们知道它558个细胞中每一个的精确位置（这是幼虫的细胞数；雌雄同体的成虫有959个细胞，不包括生殖细胞），并且，我们还知道每一个细胞的胚胎发育的精确“家史”。我们知道产生不正常线虫的大量突变基因，还知道突变在虫体的精确作用部位，以及畸形细胞如何发育的确切来龙去脉。这个小动物被了解得透透彻彻——从生命开始到结束、从里到外、从头到尾以及中间各个位点。（今天是个好日子！）直到2002年，布雷内才被授予迟来的诺贝尔生理学奖，并且有一个近缘种以他的名字命名（*Caenorhabditis brenneri*），以此向他表示敬意。他定期在《当代生物学》（*Current Biology*）杂志以“悉尼叔”（Uncle Syd）的笔名发表专栏文章，展现的是一种“聪明+诙谐的科学智慧”的模式——精妙得如同他所激发的对秀丽隐杆线虫的全球性研究一样。但是我衷心地希望，分子生物学家能和某些动物学家谈一谈（就像布雷内自己所做的一样）并学会不把秀丽隐杆线虫当作“唯一的”线虫类，甚至是“唯一的”蠕虫，仿佛再没有其他了。

当然，你不能读出图表底部细胞类型的名字（想要将所有的名字都清晰印出，需要7页之多的篇幅），但是它们表示类似“咽”、“肠肌”、“体肌”、“括约肌”、“环神经节”、“腰神经节”的结构。所有这些类型的细胞完全是彼此的近亲：说它们是“近亲”，是因为它们存在于同一个线虫的生命周期里的祖系。例如，我看到一种特殊的体肌细胞叫MSpappppa，是另一个体肌细胞的“同胞兄弟”，另两个体肌细胞中的第一代“堂兄弟”，另两个体肌细胞的“堂侄”，6个咽细胞中的第二代“堂兄弟”，17个咽细胞中的第三代“堂兄弟”

……我们确实能用像“第二代堂兄的子女”这样精确笃定的字眼来指称一个动物体内有名字的并可重复验证的细胞，这难道不令人惊奇吗？从原始受精卵开始，分化组织的细胞“世代”数量并不那么多。毕竟，秀丽隐杆线虫幼虫体内只有558个细胞，理论上，10代细胞分裂，就可以制造1024（2的10次方）个细胞。人类细胞的世代数量将会大得多。虽说如此，理论上，你仍可以为你万亿多的细胞（就像为秀丽隐杆线虫雌性幼虫的558个细胞），做一个类似的族谱，追溯每一个细胞的祖先，直到那个受精卵。然而，在哺乳动物里，要识别特定的、可重复验证命名的细胞是不可能的。在人类之中，这更多的是一个细胞群体统计学的问题，其中不同的人有不同的细节。

我希望，我的题外话——秀丽隐杆线虫的精妙研究是令人愉快的，且没有让我们分心，从而离我们重点论述的“各种细胞类型，随着它们一个接一个地从胚胎族谱分支出来后，如何改变其形状和特点”这个主题太远。在“一个克隆注定要成为咽细胞，而另一个‘堂/表亲’克隆注定成为环神经节细胞”的关键分叉点上，一定有某种物质可以分化它们，否则它们怎么知道如何启动不同的基因？答案就是，两个克隆从最近的共祖分离前，祖先细胞的两半就已经不同了。所以，当细胞分裂成两个子细胞时，虽然它们的基因完全相同（每个子细胞获得一组完整的基因），但周围的化学物质并不一致。这意味着所启动的基因并不相同——这改变了它们的后裔的命运。整个胚胎发育都适用这一相同的原则，包括胚胎发育的起步。在所有动物体内，细胞分化的关键就是细胞分裂的不对称性[注]。

英国科学家约翰·苏尔斯顿（John Sulston）爵士及其同事们，把线虫体内的每一个细胞追溯到了6个创始细胞之一——我们甚至可以称这6个细胞为“母细胞”——分别称作AB、MS、E、D、C和P4[注]。在给细胞命名时，他们用了能概括每一个细胞发育史的简洁符号。每一个细胞的名字，起始名都是6个母细胞之一，表明这个细胞来自哪个母细胞。其后，有一串字母构成这个细胞的名字，第一个字母代表导致

它产生细胞分化的方向：前（a）、后（p）、背（d）、腹（v）、左（l）、右（r）。例如，Ca和Cp是两个C母细胞的子细胞，Ca是向前发育的子细胞，Cp是向后发育的子细胞。请注意，每一个细胞的子细胞不超过两个（其中一个可能会凋亡）。现在，我正在观察一个具体的体肌细胞，名叫Capppv，简单地揭示一下它的发育史：C母细胞—向前发育的子细胞（a）—向后发育的子细胞（p）—向后发育的子细胞（p）—向后发育的子细胞（p）—向后发育的子细胞（p）—向腹部发育的子细胞（v）——这个“向腹部发育的子细胞”就是我们所讨论的体肌细胞（Capppv）。秀丽隐杆线虫的每一个体细胞，都被用一串与该细胞的发育史相对应的字母表示，每串字母开头都是6个母细胞之一。来看另外一个例子：ABprpapppap是一个神经细胞，位于虫体的沿体长延伸的腹神经索中。不用说，本没有这个必要采用细节命名。但这样做的亮点是——每一个体细胞都有一个完整描述了其胚胎发育史的名字。最终分裂产生ABprpapppap细胞的这10次细胞分裂，每一次都还会产生另外一个细胞，每一次都是一次不对称分裂，所产生的两个子细胞具有切换不同基因启动的潜力。而这一点，是所有动物体内组织分化的原则（即使该动物体内的所有细胞包含相同的基因）。当然，大多数动物拥有的细胞数量，都大大地超过秀丽隐杆线虫的“558个细胞”，而且大多数情况下它们的胚胎发育过程并没有被限定得这么严格。特别是约翰·苏尔斯顿爵士好心地提醒我（我也已经简要地提到），我们哺乳动物的细胞“家谱树”随着每一只个体的不同而不同，秀丽隐杆线虫的细胞家谱树却大多是一致的（除了突变个体）。虽然如此，原则仍然相同。对任何动物而言，因为它们在胚胎发育的短期过程中细胞不对称分裂的历史，所以虽然它们身体上不同部位的细胞在基因上完全相同，但这些细胞仍然是不同的。

让我们听听对这整个事情得出的结论吧。发育过程不存在全局计划、蓝图、建筑方案或建筑师。从胚胎开始直至最终成体的整个发育过程，都是由细胞遵循“区域规则”，与同一区域水平的其他细胞互相作用完成的。“区域规则”同样作用在分子水平上，支配着细胞内

部所发生的变化，尤其是存在于细胞内及膜结构内的蛋白质分子和其他同类分子的相互作用。再次强调，这里的规则统统都是“区域性”的，一定是“区域性”的。没有人可以通过阅读受精卵内的DNA密码序列，来预测动物将会长成什么样子。唯一的方法就是让那个“卵”以自然方式生长，然后观察它会变成什么。没有一台电子计算机可以算出受精卵长大后的样子，除非计算机的编程方式就是模拟自然生物本身的生长发育过程，但在这种情况下，你倒不如放弃“电子版发育过程”，而将这个正在发育的胚胎本身当作“计算机”（来计算它自己的生长）。“纯粹通过执行‘地方规则’来产生大型复杂结构”的这种方式，远远不同于通过蓝图造物的方式。而如果DNA是某种线性蓝图，那么通过计算机编程来阅读密码并绘制动物形体将是一件琐碎平常之事。但是，这绝对不是一件容易的事——事实上，这也许是不可能的——动物可能根本就不发生进化。

在这本关于进化的书中，本章对胚胎的讨论，不应以一个题外话结束，我必须回到“霍尔丹的提问者”所面临的真实的两难困境。鉴于基因控制的是胚胎发育的诸过程，而不是成体的形态；鉴于自然选择（像上帝一样）不制造“小翼”，但是胚胎机制会制造；那么自然选择如何作用于动物体，塑造其形体和行为方式？自然选择如何作用于胚胎，或者说，自然选择如何调整胚胎发育，使它们变得更精于建造成功的躯体——有翼或鳍、树叶或甲壳、刺或触手，或者其他任何能使生物生存下来的结构？

自然选择是成功基因的差异化生存，而不是基因库中失利的备选基因的生存。自然选择并不直接“选择”基因，而是选择它们的“代理人”——生物个体；而且，对这种个体（明显且自动、无故意之干预）的选择，是通过它们是否能生存以再造完全同样的基因而实现的。一个基因的存活与机体的存活是紧密相连的，因为基因协助构建机体并“搭载”在那些机体里，与其共存亡。任何给定的基因，都可能以自己的再造形式，搭载于大量的机体中，同时地存在于一个同时

代的种群里，并一代一代地传递下去。因此，从统计学上来说，一个趋向于对机体生存前景产生有利影响的基因，通常会发现，自己在基因库里出现的频率会趋于增加。因此，我们在基因库里通常遇到的那些基因，将是那些倾向于对构造身体有利的基因。这一章介绍的就是“基因构建机体”程序。

霍尔丹的诘问者发现，她无法相信，居然可以把自然选择累加在一起（比如说10亿年），得到一个用于构建她身体的基因图谱。而我觉得这是可信的，尽管当然我或其他人都不能告诉你这个过程里的所有细节。其可信的原因，在于这一切都恰恰是由“区域性规则”完成的。在自然选择的任何一个行为中，被其选择的突变（存在于许多细胞和与之并行的许多个体中）都会对蛋白链自动盘绕而成的形状，有一个非常简单的影响。这一点，反过来通过催化作用加快了（例如）所有开启了这一基因的细胞中的某个特定化学反应。也许，这一点改变的只是下颌的胚胎原基的生长速度。而这一点产生的影响改变了整个脸的形状，可能使整个口吻部缩短，使之更像人类，弱化其“类人猿”的特征。自然选择偏好或不偏好这个基因所造成的压力都像你能想到的一样复杂。其中可能包含性选择——可能是在选择潜在的性伙伴时高等的审美选择。或者，下颌形状的改变可能微妙地影响动物打开坚果的能力（或打击竞争对手的能力）。一些巨大且精致的选择压力组合（其内部的彼此冲突和妥协都到了令人眼花缭乱的地步）可以为这个特殊基因带来统计上的成功，它扩散其本身，通达于基因库中。但是，基因对此一无所知。基因所做的，就是随着不同的机体代代相传，细心调整一种蛋白质分子的凹痕。余下的故事，就会自动地沿着影响局部的分支级联进行，最终浮现出一个整体。

比生态、性和动物生存的社会环境所造成的选择压力更复杂的，是正在发育的细胞中或其周围发生的变幻不定的“影响网络”：基因影响蛋白、基因影响基因、蛋白影响基因的表达、蛋白影响蛋白，膜结构，化学梯度，在胚胎中起引导作用的物理性和化学性路径，激素

和其他远程媒介的作用方式，已标记的细胞寻找其他拥有相同或互补标记的细胞。没人能理解整个图景并且也没有人需要理解整个图景才能接受自然选择精致的合理性。自然选择，青睐于基因库里能引起胚胎关键变化的基因突变，使其存活。整体图景，作为成千上万个小的区域性相互作用的结果而浮现出来，对于有足够的耐心去检查的任何人，每一个小的区域性相互作用都可以从原则上理解（尽管它可能太难或太费时，以至于不能在实践中阐明）。整个这一套实践起来可能是令人迷惑和神秘的，但是其原则并没有什么神秘可言——不论是胚胎发育本身，还是通过使基因库里的控制基因脱颖而出的进化历程，都没有什么神秘可言。复杂性跨越整个进化时间，逐渐积累：每一步和以前相比，都仅有微小差异，然而每一步的完成，都是遵循现有的区域性规则而产生的一个小而微妙的变化。当你拥有足够数量的“小实体”（细胞、蛋白质分子、膜结构），每一个“小实体”在它自己的水平上都遵循区域性规则，并对其他“小实体”产生影响，那么最终的结果将是戏剧性的。如果基因“存活”或“淘汰”的结果，对这样的“区域性实体”及其行为产生了影响，那么自然选择对成功基因的遴选，及其成功“产品”的出现，必然将随之而来。向霍尔丹提问的人错了。原则上，要制造一个如她一般的个体，并不困难。

并且，正如霍尔丹所说，这只需要花9个月时间。

---

1. 隐杆线虫属的原始细胞，称为Z细胞，其前端与尾端不同，并且这种差异会表现为最终的头尾体轴——头端（前端）和尾端（后端）。当这个细胞分裂时，前端的子细胞称为AB细胞，拥有的前端物质多于后端被称为P1细胞的情况，而且这种差异会沿着这条路线导致更多的差异性。AB细胞注定产生该虫体过半的细胞，包括神经系统的大多数细胞，在此不深入讨论。P1细胞有两个子细胞，也彼此不同，叫作EMS细胞（明确分化为最终成虫的腹部或胃部）和P2细胞（分化成背部）。它们都是Z细胞的隔代细胞（记住，我用类似“子代”和“隔代”这样的词时，是在谈论发育中的胚胎细胞，而不是个体线虫）。EMS细胞如今也有两个子代细胞，叫作E细胞和MS细胞，而P2的两个子细胞叫作C细胞和P3细胞。E细胞、MS细胞、C细胞和P3细胞都是Z细胞隔两代的子细胞（其他隔两代的子细胞都是从AB细胞发育来的，我不打算把它们都写出来，只想说其中的两个，叫作ABal细胞和ABpl细胞，它们会明确分化为成虫身体的左侧，而和它们

同代的其他细胞——ABar细胞和ABpr细胞，会明确发育成最终成虫身体的右侧）。P3细胞的两个子代叫作D细胞和P4细胞，是A细胞隔三代的子细胞。MS细胞和C细胞也有子代，但我不在这儿继续点名了。P4细胞注定发育成所谓的生殖细胞系。但生殖细胞系的细胞不构建躯体，而是会成为生殖细胞。很明显，这里并不需要记住这些细胞的名字。重点在于，尽管它们彼此在基因上完全相同，却具有不同的化学性质，这是它们通过胚胎中一系列细胞分裂发育的积累所导致的结果。

2. 继布雷内赴美国后，留在剑桥大学的苏尔斯顿是另一位因隐杆线虫获得诺贝尔奖的三位顶尖科学家之一。苏尔斯顿继续他的工作，从而领导了官方的人类基因组计划英国负责部分的研究。该计划的美国负责的部分由詹姆斯·沃森（James Watson）和弗朗西斯·柯林斯（Francis Collins）领衔研究。

第九章 大陆方舟

如果没有岛屿，世界将会怎样？

生物学家通常用“岛”（island）这个词所表示的意义，并不仅仅是“一块四面环水的陆地”。从一条淡水鱼的视角去看，一个湖泊就是一个“岛”——一个由不可居住的陆地围绕的宜居“水岛”。而对于低于某一高度就不能生存的“高山甲虫”来说，每一座高峰就是一个岛，中间都是几乎不可逾越的峡谷。树叶里寄生着许多小型线虫（与秀丽隐杆线虫近缘，在严重感染的单片树叶里可多达1万条），它们通过气孔入侵叶片——气孔是一种微孔，是叶片吸入二氧化碳、释放氧气的结构。对于寄生在叶片里的线虫来说，如*Aphelencoides*，一棵毛地黄植株就是一个“岛”。对于一只虱子，一个人的脑袋或胯部可能就是一个“岛”。在沙漠里，一定有许多动植物把绿洲看作一个清凉岛——一块被毫无生命的沙海包围的绿色生地。当我们重新从动物的角度来看的话，因为一个群岛是一条岛链或岛群，我猜想淡水鱼可能把它们的“群岛”定义为一条“湖链或湖群”——如沿着东非大裂谷分布的诸多湖泊。一只高山旱獭也许会把被山谷分隔成的“高峰链”定义为一个群岛。潜叶昆虫也许会把一条街上的树木当作一个群岛。一只蝇也许会把一个牛群当作一个移动的群岛。

在我们重新定义了“岛”这个词之后（安息日是为人造的，人不是为安息日造的），让我们回到本章开头。想象一个没有“岛”的世界。

他买了一张大海图代表着海洋，

一点儿也没有陆地的痕迹：

当船员们发现，这是他们都可以理解的海图，

大家都非常高兴。[注]

我们不会走得像贝尔曼（Bellman）那么远，但是想象一下，如果所有的陆地都聚集成一个总大陆，在一个毫无特征的海中央。没有离岸的岛屿、陆地上也没有山川湖泊：没有什么可以打破光滑、均一、单调的海面。在这个世界里，一个动物可以轻易地从任何一个地方走到另一个地方，距离是唯一的限制，而不因某地无法居住而产生障碍。这不是一个对进化有利的世界。如果没有岛屿，地球上的生物将会极度无聊；为什么会这样呢？我将以此着手进行解释，开始本章。

---

1. 这段诗句节选自刘易斯·卡罗尔（Lewis Carroll）的长诗《猎蛇鲨》（*The Hunting of the Snark*），贝尔曼是诗中角色。——编者注

新物种是如何诞生的

每一个物种都是所有其他物种的堂/表亲。任何两个物种，都传衍自一个（曾一分为二的）祖先物种。例如，人和虎皮鹦鹉的共同祖先生活在3.1亿年前。祖先物种一分为二，分道扬镳，在接下来的时间各奔前程。为了使例子生动，我选择了“人和虎皮鹦鹉”这一对例子，但两者的共同的祖种，传下的一脉是所有的哺乳动物，另一脉则是所有的爬行动物（在动物学中，鸟类属于爬行纲动物，正如我们在第六章看到的）。如果这个不太可能被发现的祖先物种被发现了，它就需要一个名字。让我们称它为达氏原兽（*Protamnio darwinii*）。我们并不知道任何关于它的细节，而且这些细节与讨论无关，但是如果我们想象，它是一种四肢可伸展的像蜥蜴一样的生物，到处乱窜着捕虫，就不会错得太离谱。现在，重点来了。当达氏原兽分成两个亚群体，它们看起来仍一模一样，并可以愉快地和对方杂交，但有一个亚群注定要进化成哺乳动物，而另一个亚群注定要进化为鸟类（以及恐龙、蛇还有鳄鱼等爬行类）。达氏原兽的这两个的亚群体，揖别之后将经历很长的时间，并产生很大的差异。但是，如果它们保持彼此杂交的状态，它们就不可能产生分歧。这两个基因库将不断涌入彼此的基因。因此，任何产生分歧的倾向都将消灭在萌芽状态，淹没在来自另一种群的基因流中。

在这个历史性的分支进化时刻，究竟发生了什么，无人知晓。它发生在很久以前，而我们不知道它具体在哪儿发生的。但是现代进化理论，将有信心重建大致如下的历史。达氏原兽的两个亚群，不知何故，彼此发生分离——最有可能是通过一个地理隔离，例如一条带状海分隔了两个岛屿，或从大陆分离出了一个岛屿。我这里所说的两个

岛屿，是广义的岛屿：它可以是由山脉分隔的两个山谷，或一条河分隔的两座森林。事情的本质就是——这两个群体分离了足够长的时间，以至于当它们最终拥有重聚的时间和机会，它们发现彼此的差异实在太大，再也不能杂交了。多久算是“足够长的时间”？好吧，如果它们受到互斥且强烈的选择压力，这个时间就可能只要几百年，甚至更短。例如，一个岛屿可能缺少一种凶猛的食肉动物盘踞其上。或者，也许这个岛内的种群已从食虫转向食素，例如第五章提到的亚得里亚海蜥蜴。再一次地，我们可以不知道达氏原兽如何分裂为二，我们不需要知道。现代动物提供的每一项证据，都使我们有理由相信，我刚才讲的故事（共祖歧化为各支后裔）正是过去所发生的。

屏障两侧的条件，即使是完全相同的，地理上分隔的两个基因库也终将使同一物种的两个种群渐行渐远，并最终达到当它们之间的地理隔离最终消失时，它们已不能杂交的程度。在两个基因库里，随机变化将逐渐发生，切断种群间的杂交——当来自两个种群的雌性和雄性动物相遇，它们的基因组将很难彼此结合以产生可育的后代。无论是仅仅随机漂移的因素使然，或是由于特异的自然选择的辅助作用，一旦两个基因库已达到“不再需要地理隔离就能保持遗传（基因）上的独立”这种程度，我们就称它们是两个不同的物种。在我们的假设情况下，岛上种群的变化多于大陆种群的变化，也许是由于缺乏天敌以及变得更“素食”化的饮食结构。于是，那时的一个动物学家也许已经认识到，岛上的种群已经变成一个新种，并给了它一个新名字，叫作蜥原兽（*Protamnio saurops*），而旧名达氏原兽也许仍继续作为大陆种群的物种名。在我们假设的情景中，也许注定，这个“岛”上的种群将进化为恐龙类的爬行动物（这一类的所有动物我们今天称为“爬行动物”加上“鸟类”），而大陆种群最终进化成了哺乳动物。

再一次，我必须强调，我所讲的小故事里，“细节”纯属虚构。由岛上的种群进化为哺乳动物，同样也是可行的。故事中的“岛屿”也可能是一片被沙漠包围的绿洲，而不是被水域包围的陆地。当然

了，我们对“这种大分裂发生在地球表面的何处”这件事一无所知——事实上，当时的世界地图和现今的完全不同，以至于这个问题几乎没有什么意义。不虚构的部分才是重点：那些导致了地球上丰富的生物多样性的数以百万计的进化分歧，其中的大多数（就算不是全部）都是始于一个物种的两个种群有机会分离、分列在一个地理隔离的任何一边，（通常，但不总是）如海洋、江河、山脉或沙漠山谷。生物学家用“物种形成”（speciation）一词表示一个物种分裂形成两个“子物种”。大多数生物学家会告诉你，正常情况下，地理隔离是物种形成的序幕，虽然“同地种形成”（sympatric speciation）也同样重要（尤其是一些昆虫学家会这样说）。同地种形成，最初也需要一些偶然的分离，来推动物种形成的“雪球”发生滚动，但这是某种不同于地理分离的事件。这个事件，可能是当地的一种微气候的变化。我不会详述细节，只能说，同地种形成的方式，似乎对昆虫来说尤为重要。然而，为了简单起见，我在本章的其余部分将假设：在物种形成之前，正常应先出现地理隔离。你也许还记得，在第二章“论述家犬品种”的时候，我把“厉行纯种狗繁殖规则的作用”比作“创造虚拟岛屿”。

“人们确实会幻想……”

那么，一个物种的两个种群是如何位于一个地理屏障的两侧的？有时，屏障本身就是新生事物。一次地震开裂出了一个不可逾越的峡谷，或改变了一条河流的河道，因而某一物种的某个单一繁殖的种群，发现自己已经被隔断成两个种群。通常情况下，这个屏障一直都会存在，除非在极罕见的情形下，动物才会自己越过屏障。必须如此，否则这个屏障就不能被称为“屏障”了。历史上，安圭拉（Anguilla）的加勒比岛并没有美洲绿鬣蜥（*Iguana iguana*）。1995年10月4日，突然在该岛东面出现了成群的这种大蜥蜴。它们登陆的实际情形，碰巧被人看到了——它们紧紧抱住浮木和被连根拔起的树木（有些超过30英尺长）从邻近岛屿漂流而至，很有可能是从160英里外的瓜德罗普岛（Guadeloupe）漂过来的。上个月的两次飓风［9月4日—5日的“路易斯”（Luis）和两周后的“玛丽莲”（Marilyn）］横扫了整个区域，可以轻易将树木连根拔起，连带着运来了习惯在树上栖息的美洲绿鬣蜥。安圭拉岛上的新种群在1998年仍然很繁盛，并由艾伦·琴斯基（Ellen Censky）博士做了最初的研究，也是他告诉我这个种群一直繁盛至今，甚至似乎比在这个新的侵略者到达安圭拉之前，就已在这里繁衍的其他美洲鬣蜥属种群还要繁盛。

关于这类“反常扩散”的事件，重要的一点是它“必须足够常见”到形成新的物种，但又不能太常见。如果太常见——假如美洲绿鬣蜥每年从瓜德罗普岛漂往安圭拉，那么安圭拉岛上最初的可形成新物种的种群，将被不断传入的基因流淹没，从而不能偏离瓜德罗普岛的种群而形成新物种。顺便说一下，请不要被我的一个用词误导，“必须足够常见”这个词组可能会被误解成表示“采取某种步骤，以

确保这些岛屿的距离恰到好处，促进物种形成”！显然，这是本末倒置了。实情是这样的：无论在哪里有了距离适中、有利于形成新物种的岛屿（通常指广义的“岛屿”），就会发生新物种的形成。而距离是否“适中”将取决于动物抵达这里的难易程度。安圭拉和瓜德罗普岛相距160英里，在它们之间飞越，对任何飞行能力高强的鸟类简单得如同儿戏（如海燕）。但是，即使几百码的海面，对于青蛙或无翅昆虫来说，也许已经是难以逾越的屏障，足以使之产生新物种了。

加拉帕戈斯（Galapagos）群岛与南美大陆之间，相隔约600英里的开阔大洋，将近4倍于前述的“美洲鬣蜥随着被连根拔起的树木迁移到安圭拉岛”所漂流的距离。加拉帕戈斯诸岛都是火山岛，从地质标准来看，都很年轻。它们都不曾和任何大陆相连。整个群岛的动植物区系都必定是迁移过来的——大概是从南美洲大陆迁移过来的。即使小型鸟类能够飞行，但600英里的距离也足以使雀形目鸟类的飞越成为非常罕见的事件。虽不至于罕见到不可能发生，但是，加拉帕戈斯群岛上的雀形目鸟类，其祖先可能是在历史上某个时间点被一次奇异罕见的风暴“吹越”过来的。虽然这些雀类物种本身只在加拉帕戈斯群岛生存繁衍，但属于一个可辨识的南美类型。请看达尔文的地图（图50），我使用这幅老地图是出于感性原因，并且也是因为达尔文对这些岛屿用的是堂皇的海军专用英文名，而不是现代的西班牙名。首先请注意：比例尺为60英里，这是一个动物从最近的大陆地点迁移到群岛的距离的1/10。这些岛屿彼此间的距离只有数十英里，但离大陆则有数百英里。真是天造地设，有利于物种的形成！若说“被偶然吹过或漂过海域屏障到一个岛的概率与该屏障的宽度成反比”就太过简单了。然而，距离和跨越屏障的可能性之间，很明显存在某种负相关关系。岛屿间的平均距离不过几十英里，和距离大陆600英里相比差异是如此之大，以至于你会期望“群岛”将是物种形成的大工厂。它确实是，正如达尔文最终意识到的一样，尽管他离开那些岛屿后才意识到这一点，并且他再也没有旧地重游。

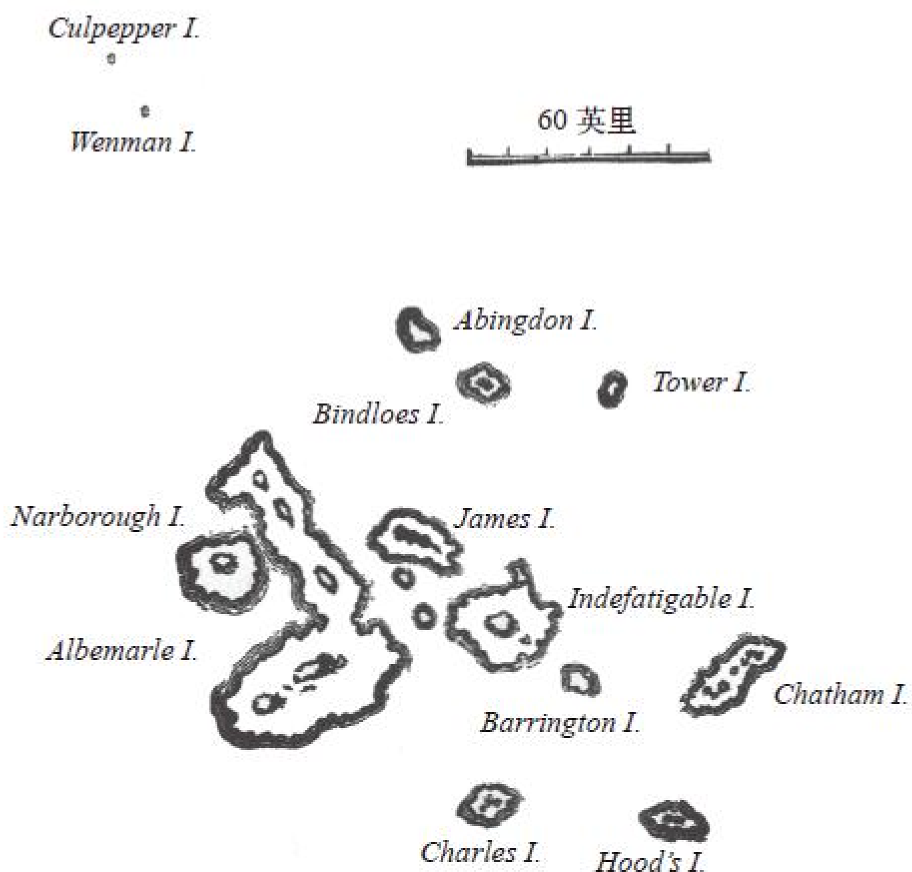


图50 达尔文的地图——以如今很少用的英文名命名的加拉帕戈斯群岛地图

“诸岛彼此之间距离数十英里”和“整个群岛与大陆之间距离数百英里”，这两者之间的差距导致进化论者预料到这样的情况——群岛中不同的岛屿拥有的种群彼此非常相似，但和大陆上对应的种群则有很多不同。而这正是我们发现的。达尔文本人说得好，甚至在他形成完善的想法之前，就已用非常进化式的语言进行了论述。我已经把关键语句用加粗体表示，并将贯穿本章的不同内容，复述其意思。

> 看了这些体型小而密切相关的鸟类在构造上的级进和多样性之后，**人们确实会推想，由于这个群岛原来缺少鸟类，后来由外边引进了一个物种，于是这个物种为了各种不同目的，发生了变异**。同样也可推想，最初引进到这里的是一种鸟（buzzard）；它行使了美洲大陆的食腐的卡拉鹰的天职。

最后一句话指的是“加拉帕戈斯之鹰”——加拉帕戈斯群岛，这是另一个被发现只存在于加拉帕戈斯群岛的物种，不过这个物种和大陆上的对应物种多少有点类似，特别是斯温森鹰（*Buteo swainsoni*），该种群每年都在南北美洲之间迁徙，很可能在一两次的偶然情况下被“吹”离了正常航线。如今，这些岛屿上的“加拉帕戈斯之鹰”和“不会飞的鸬鹚”应该被称为“地方性”生物，这意味着这是这些生物的唯一发现地。当时达尔文本人也尚未完全接受进化论，他用了当时流行的表达——“土著生物”（aboriginal creations），意思是上帝把它们创造在了这里，而不是别处。他用了相同的措辞描述“巨型陆龟”（当时繁盛于这里所有的岛屿），也用相同的措辞描述了两个不同种的鬣蜥——加拉帕戈斯群岛上的陆鬣蜥和海鬣蜥。海鬣蜥是真正与众不同的生物，和世界上其他地方所见的任何生物都相当不同。它们潜入海底，吃海藻——这似乎是它们唯一的食物。它们的游泳姿态甚为优雅，虽然据达尔文的坦率描述，其形象并不美：

> 它是一种面目可怕、颜色污黑、愚笨(注)而又动作缓慢的动物。完全长成的冠状钝嘴鬣蜥的普通身体长度大约是1码（3英尺），但也有几条甚至达到4英尺长……它们的尾部两侧扁圆，并且4只脚的趾间有不完全的蹼……当这种蜥蜴在水中游泳时，它依靠自己的身体和扁圆形尾部的运动，像蛇一样的运动，可以十分迅速且灵活地游动，但4条腿垂在身旁不动。

由于海鬣蜥善于游泳，我们可能认为：是它们（而不是陆鬣蜥）从大陆横跨了辽阔的海域并随后在群岛上形成新物种——产生了陆鬣蜥。然而，几乎可以肯定——实际情况并非如此。加拉帕戈斯群岛上的陆鬣蜥与仍旧生活在大陆上的鬣蜥并无特别大的差异，海鬣蜥反而是加拉帕戈斯群岛的独有生物。在世界其他地方，从未发现拥有同样的海洋习性的蜥蜴类生物。我们现在有信心说：这个物种是最初从南

美洲大陆来的陆鬣蜥，也许是由浮木运送来的，就像现代鬣蜥从瓜德罗普岛被吹到安圭拉。在加拉帕戈斯群岛上，陆鬣蜥随后通过物种演化，产生了海鬣蜥。且几乎可以肯定，由那些呈间隔性排列的岛屿产生的地理隔离，造成了作为祖先的陆鬣蜥与新种海鬣蜥之间形成初步隔离。想必一些陆鬣蜥意外地乘“筏”跨海到了一个当时无鬣蜥的岛，并且在这个源始之岛上，由于没有陆鬣蜥基因流的注入污染，获得了一种海洋性习性。过了许久，它们散播到了其他岛屿，最终回到它们陆地祖先最初所在的岛。如今，它们再也不能彼此杂交了，因此它们通过基因遗传下来的海洋性习性，已不会再被陆鬣蜥的基因所“污染”。

通过观察一个又一个例子，达尔文注意到同样的事情。在加拉帕戈斯群岛，每个岛上的动植物很大程度上是该群岛独有的（原住生物），但它们大多在细节上也因为岛屿的不同而彼此有别。在这方面，他对植物印象特别深刻：

> 因此，我们看到一个真正惊人的事实：在加拉帕戈斯群岛的38种豆科植物中，就是在世界上任何其他地方都没有发现过的豆科植物中，竟有30个物种只生长在詹姆斯（James）岛上［圣地亚哥（Santiago）］，而在加拉帕戈斯群岛的26种原住植物中，也有22个物种只生长在阿尔贝马尔（Albemarle）岛上［伊莎贝拉（Isabela）］，也就是说，现在知道的只有4个物种生长在这个群岛的其他岛上；查塔姆岛（Chatham）［圣克里斯托瓦尔岛（San Cristobal）］和查尔斯岛（Charles）［弗洛雷纳岛（Floreana）］上的植物也有同样的情形。

在这些岛屿上，他注意到同样的现象出现在模仿鸟（Mockingbird）的分布上。

> 起初由于被我和我同舰的其他几位参加者所捕杀的反舌鸫标本非常之多，而引起我对这方面的极大注意，让我惊讶的是，我发现，查尔斯岛上所有的鸟都属于同一个种（三环反舌鸟，*Mimus trifasciatus*），阿尔贝马尔岛上所有的鸟都属于最小的一种反舌鸟（*M. Parvulus*），而詹姆斯岛和查塔姆岛上所有的鸟（在这两个岛之间还有两个岛作为联系链条）则都属于黑色反舌鸟（*M. melanotis*）。

世界各地的情况，也是如此。某个特定地区的动植物群，都像我们所预料的那样——“一个物种为了不同的目的而发生了改变”（引用达尔文对目前已被命名为“达尔文雀”的雀形目鸟类的叙述）。

加拉帕戈斯群岛的副总督劳森先生（Mr Lawson）所提供的信息，令达尔文大感兴趣：

> 各个岛上的陆龟种类各不相同，而且他能确切地说出任何一只龟是从哪个岛上来的。我起初没有注意这一点，甚至把从两个岛上采集到的标本部分地混在一起了。我做梦都不曾想到，这两个岛相距只有50~60英里，彼此相望，清晰可见，它们完全是由同样的岩石构成的，气候十分相似，差不多有同样的海拔高度——竟会有彼此不同的生物。

所有的加拉帕戈斯巨龟都与一个特定的大陆陆龟物种阿根廷象龟（*Geochelone chilensis*）相似，但体型要大得多。在这些岛屿存在的几百万年里的某个节点，一只或几只陆龟不慎坠海，漂流而至。它们是怎么跨过漫长艰苦的海洋而活下来的呢？当然，大多数陆龟是做不到的。但只要一只雌性陆龟做到就好了。而陆龟们，拥有着惊人的良好“装备”，可以横跨海域活下来。

早期捕鲸者曾从加拉帕戈斯群岛带走上千只巨龟，作为他们航行途中的食物。为了保持肉质鲜嫩，他们不会杀死巨龟，而是等到有需要时才这么做，在这个过程中，那些巨龟不食不饮。它们只简单地被放置成四脚朝天式，有时几个巨龟被叠放在一起，因此它们不能爬动。我讲这个故事，并不是为了制造恐惧（虽然我不得不说，这种野蛮残酷的做法吓坏了我），而是为了说明——在没有食物或淡水的条件下，巨龟可以存活数周，它们能轻易活到足够长的时间，随洪堡寒流（Humboldt Current）从南美洲漂流到加拉帕戈斯群岛。那些巨龟确实做到了这一点。

这些巨龟，登上了它们在加拉帕戈斯群岛中的第一个岛，并实现繁殖之后，它们会（再次偶然地）通过“跳岛迁移”，以同样的方式越过较短的距离，抵达群岛中的其他岛屿。它们做了许多动物抵达一个岛屿后都会做的事——它们的体型进化得更大了。这就是长期观察到的“岛屿巨化症”（island gigantism）现象［容易与此混淆的，还有一个同样众所周知的现象——岛屿侏儒症（island dwarfism）］注。

如果这些乌龟遵循了著名的达尔文雀模式，它们将会在每一个岛屿上，进化成一个不同的物种。然后，即使偶然随波逐流相遇于岛屿间，这些物种之间也将不能杂交（记住，这就是“独立物种”的定义），并且它们会各自进化出不同的生活方式，不被外源基因流污染。

可以说，不同物种的交配习惯和喜好不相容，构成了一种基因隔离，代替了诸岛间的地理隔离。虽然它们在地理分布上仍有重叠，但是它们现在已被隔离在“排他性交配”的“孤岛”。因此，它们就可以歧化得更远。大型、中型和小型地雀，原来分布在不同的岛屿上；现在，在加拉帕戈斯群岛中绝大多数岛屿上，这三个物种共存在一起，但它们从不杂交，并且以不同的种子为食。

陆龟产生新物种的方式与此类似，在不同的岛屿上，不断进化出各自独特的背壳。生活在大一点的岛屿上的物种，进化出“高的圆顶”背壳。那些生活在较小岛屿上的物种，则进化出前端有一个高唇状突出（为了头部伸缩需要）的马鞍形背壳。这样的形成方式，其原因似乎是由于大岛湿度足够草类生长，因而大岛上的龟都是草食性的；而小岛大多是过于干燥不宜生草的，这类乌龟就只能取食仙人掌。这种“高唇鞍壳”使龟的颈部可够到仙人掌，而仙人掌与这种草食性陆龟之间发生的捕食者与被捕食者的“军备竞赛”，致使仙人掌也长得更高了。

陆龟的进化故事进一步增加了地雀模式的复杂性，对陆龟来说，火山是岛中之岛。火山为食草的巨龟提供了千熔岩领域内被低海拔区域所包围的、高海拔的凉爽潮湿绿洲，与沙漠地带相对。每一个较小型的岛屿都有一个单一的大型火山和该岛特有的单一的巨龟类物种或亚种（少数岛屿没有火山和巨龟）。在大的伊莎贝拉岛（达尔文称之为“阿尔贝马尔岛”）上有5个主火山组成的火山链，并且每一个火山都有它自己的龟种（或亚种）。伊莎贝拉岛真的是一个“群岛”中的群岛——一个岛内又包含了一个岛屿系统的岛，并且，这里最优雅地展现了真正地理意义上的“岛屿”［在物种的隐喻遗传（基因）意义上］，为进化设下了舞台。这是达尔文在他幸福的青年时代所发现的岛(注)。

圣赫勒拿（St Helena）岛位于南大西洋中，距非洲海岸约1200英里，是世界上最孤立的岛屿。圣赫勒拿岛拥有约100种特有植物（当时被青年达尔文称为“原住生物”；而老年达尔文则会说，它们是在那里进化形成的）（图51）。这些植物，都是属于菊科的森林树种（或者说“曾是”，因为其中一些现在已经灭绝了）。

这些树，其习性类似非洲大陆的树木，但与它们并无紧密亲缘，而是与大陆的草本植物或小灌木有亲缘。古代发生的情况必然是：小

灌木或草本植物的几粒种子，机缘巧合地从非洲大陆跨越了这千余英里的鸿沟，在圣赫勒拿岛落地生根，由于森林树木的生态位空悬，它们就进化出更粗壮、木质化的树干，直到形成了完全的树木。类似的，像树一样巨大的雏菊，已经在加拉帕戈斯群岛独立地进化出来了。世界各地的岛屿上都发生了同样的进化模式。

每一个非洲大湖，都有自己独特的鱼类，以慈鲷科鱼类为主。维多利亚湖（Lake Victoria）、坦噶尼喀湖（Lake Tanganyika）和马拉维湖（Lake Malawi）中的慈鲷科鱼类，各自有数百个物种，彼此完全不同。它们明显地是在这三个湖中分别进化来的，更加神奇的地方在于，在三个湖中，它们不约而同地发展出了同样的“营生方式”。在每一个湖里，似乎都发生了如下情形：不知怎么的，突然进来了一个或两个先驱物种（也许是来自河流），然后，每一个湖泊的先驱物种不断形成新的物种，形成了我们今天所看到的充斥湖泊的数百物种。在同一个湖泊之内，这些萌芽的新物种如何实现了最初的地理隔离，从而使它们发生了分裂？



图51 圣赫勒拿岛的森林树种

引入“岛屿”概念时，我曾解释过，从鱼的角度来看，一个湖泊就是被陆地包围的“岛屿”。但我们可能不易想到，传统意义上的岛屿（被水包围的陆地）对一种鱼来说，尤其对一种浅水鱼来说，也可能是一个“岛”。想一想，生活在海里珊瑚礁中、从不冒险进入深海的鱼。从它的角度看，浅水中珊瑚岛边缘就是一个“岛”，大堡礁就

是这样一个群岛。在湖泊中也有类似的“岛”。在一个内湖，尤其是较大的内湖里，一块突起的岩石对一条生活习性被限定在浅水的鱼来说，可能就是一个“岛”。几乎可以肯定：一些生活在非洲大湖中的慈鲷科鱼类就是这样实现最初隔离的。大多数鱼类被局限在“岛”周围的浅水中，或在浅水湾与河流入口处。这种方式实现了与其他浅水域单位的部分隔离；这些浅水域单位通过彼此间被偶尔横跨的深水区，连接成了一个相当于加拉帕戈斯群岛的水下“岛群”。

有充分的证据（如矿物样本）表明，在过去的几百年里，马拉维湖的水位经历了戏剧性的起落，在18世纪时达到的最低点，低于现在水位100多米［当我在它的沙滩上度过我的第一个经济型假日时，此湖尚叫“尼亚萨湖”（Lake Nyasa）］。如今它的许多岛，在18世纪并不是“岛”，而是环绕湖滨的露出水面的小山丘。在19世纪和20世纪，马拉维湖的水位上升，山丘变成了岛屿，群丘成为群岛，然后，生活在浅水中的慈鲷科鱼类物种开始形成，当地人称这类鱼为Mbuna。“几乎每一块露出水面的岩石和每一个岛屿都有其独特的Mbuna鱼群，拥有无尽的色彩类型和物种。由于许多这种岛屿和露出水面的岩石在过去200~300年时还是旱地，因而鱼群的形成也是在这个时间发生。”

如此快速地形成新物种，是慈鲷科鱼类尤其擅长的事。马拉维湖和坦噶尼喀湖是古老的，但维多利亚湖则非常年轻。该湖的湖盆仅仅形成于约40万年前，从那以后，它干涸过几次，最近一次是在约1.7万年前。这似乎意味着，它特有的包含450个物种左右的慈鲷科鱼类动物群，仅仅是由百年尺度的进化形成的，并非我们通常认为的“这种宏大的进化分歧需要数百万年才能发生”。关于“进化能在这么短的时间里做些什么”，非洲湖泊的慈鲷科鱼类，给我们留下了深刻印象。它们几乎有资格被列入“就发生在我们眼前”这一章。

澳大利亚的森林和树林，主要由桉属（Eucaly ptus）的树木构成，桉树超过700种，填充了巨大范围的生态位。这再一次让我们可以

仿照达尔文关于鸣雀的格言造句：几乎任何人都可以想象得到，桉树“已经为了不同的目的进行了变异”。更著名的、类似的例子是澳大利亚的哺乳动物群。在澳大利亚，拥有或曾经拥有与大陆生物具有等价生态位的许多物种（直到最近，可能由于原住民的入侵而灭绝），分别对应着我们的狼、猫、兔、鼹鼠、鼩鼱、狮子、鼯鼠及其他许多物种。然而，它们是有袋类动物，迥异于我们在世界其他地方所熟见的胎盘类哺乳动物（狼、猫、兔、鼹鼠、鼩鼱、狮子和鼯鼠）。澳大利亚的对等物种都是从几个，甚至一个有袋类祖先物种进化而来的，它们的后裔“选择了不同的目的，并为这些目的而发生了改变”。这个奇妙的有袋类动物群，同时也产生了很多新物种，它们难以在澳大利亚以外找到对应物种。众多的袋鼠科物种大多填补了与羚羊类似的生态位，但它们是跳跃的而不是奔跑的（而树袋鼠填补了猴子或狐猴的生态位）。它们的生存范围从大型的红袋鼠（还有一些已灭绝的甚至更大的物种，包括一种可怕的、跳跃行走的食肉动物）到小型的“小袋鼠”和树袋鼠。曾经有一种巨大的，和犀牛一样大小的有袋类动物——巨袋鼠（Diprotodonts），它与现代的袋熊近缘，但高达3码（9英尺）、肩宽6英尺、重达2吨。我将在下一章再回到澳大利亚有袋类动物的话题。

提起来实在是太可笑，但是恐怕我还是要提，因为超过40%的美国人（我曾在第一章表示惋惜）真的相信《圣经》：认为动物的地理分布应该看起来像它们从诺亚方舟四散离开的情形一样。那么，难道不应该存在某种减少物种多样性的规律，正如我们从集中地撤离一样——也许是亚拉腊山（Mount Ararat）？㊟不用我说你也应该知道——这并非我们所见到的景象。

为什么所有这些有袋类哺乳动物——范围从小巧的有袋小鼠，中型大小的考拉和袋兔（bilbys）一直到大袋鼠和巨袋鼠属动物（它们都有“袋”，但没有任何胎盘），要从亚拉腊山集体迁居到澳大利亚？它们采取了哪条路线？为什么没有一个成员中途掉队，定居在印

度或中国，或一些沿伟大的丝绸之路分布的避难所？为什么整个古生的贫齿目［包括所有的20种犰狳（包括灭绝的巨型犰狳）、所有的6种树懒（包括灭绝的巨型树懒）、所有的4种食蚁兽］都准确集结在南美洲，途中没有留下定居者的一点儿痕迹、皮毛或甲壳？为什么和它们同在的豚鼠形啮齿类次亚目下的动物［包括豚鼠、刺豚鼠、无尾刺豚鼠、巴塔哥尼亚野兔（maras，豚鼠的一种）、水豚、龙猫和许多其他动物］构成了一个南美洲特有的啮齿动物种群，不见于任何其他地方？为什么整个猿亚目，如阔鼻猴，定居于南美洲，而不是任何其他地方？难道不应该至少其中有一些已经“加入”了其他猿类物种的迁徙，如在亚洲或非洲的狭鼻猴？而且，难道不应该至少有“一种”阔鼻猴属物种和狭鼻猴属一起到了新大陆？为什么所有的企鹅长途跋涉，向南步行到南极，而不会有某种企鹅单独到了同样环境适宜的北极？

曾有一种狐猴的祖先（依旧很可能是一个单一物种）来到了马达加斯加。现在，该岛上有37种的狐猴（加上一些灭绝的）。它们的身长范围，包括从比仓鼠还小的侏儒狐猴，到一种比黑猩猩还大的熊一样的巨狐猴（最近才灭绝）。所有这些狐猴，每一只都生活在马达加斯加。在世界上的其他地方都没有狐猴，在马达加斯加则没有猿类。拒绝相信进化史的那四成人，对这种情况的出现，究竟是怎样看待的？是否狐猴属的37个甚至更多的种，都以马达加斯加作为目的地，跳下诺亚方舟的甲板并迅速逃生（就浣熊的例子，是毫不夸张的），没有任何一只在穿越非洲大陆的中途停下，停留在其中任一地点？

再一次地，我对自己“杀鸡用宰牛刀”感到抱歉，但我也是迫不得已——因为超过40%的美国人对诺亚方舟的故事深信不疑。我们本应该忽略他们，继续我们的科学探讨，但我们不能这么做，因为这四成人控制了学校的董事会，他们在家里教育自己的子女，剥夺了子女受教于称职的科学教师的权利；“他们”包括美国国会的许多议员、一些州的州长，甚至包括总统和副总统的候选人。他们有足够的金钱和

权力，建立了研究所、大学甚至博物馆——在那里，孩子们骑着与实际尺寸等大的机械恐龙模型，大人们会郑重地告诉那些孩子，这些恐龙曾和人类共存。而且，最近的民意调查显示，欧洲部分地区和大部分伊斯兰世界也同样不甘落后。（或者应该解读为“做法超前”？）

即使我们抛开亚拉腊山不说，即使我们保持克制，不讽刺那些相信诺亚方舟神话的人，任何“分别创造理论”也都会面临类似的问题：一个全能的造物主，将他精心制作的物种植入那些岛屿和大陆，为什么其方式却恰恰不可阻遏地表明了“这些物种是从其进化地点完成进化并分散开的”？为什么他将狐猴类都放在马达加斯加，而不放在其他任何地方？为什么南美洲只有阔鼻猴，而非洲和亚洲只有狭鼻猴？为什么在新西兰除了能飞到那里的蝙蝠，没有哺乳动物？为什么在岛链中的动物和邻近岛屿上的动物，彼此间最像，以及为什么它们和那些在最近的大岛或大陆上的动物也总是有相像之处——并不很像但仍旧不会错认？还有，除了能飞的蝙蝠及那些用人类的独木舟“运”过去的生物之外，为什么造物主只把有袋类哺乳动物放在了澳大利亚？事实上，如果我们调查每一个大洲、岛屿、湖泊、河流、山顶、山间河谷、森林和沙漠——要理解动植物分布的不二法门，就是（再次）学习达尔文对加拉帕戈斯地雀的洞察：“人们确实会推想，后来由外边引进了一个物种……然后这个物种为了各种不同的目的，发生了变异。”

达尔文痴迷于岛屿，随着“贝格尔”号的航行，他广泛地游历了许多岛屿。他甚至弄清楚了一种重要岛屿——珊瑚岛（由叫作“珊瑚”的生物建造而成）是如何形成的这种令人惊讶的真相。达尔文后来认识到岛屿和群岛对自己的理论至关重要，并且，他做了几个实验以解决“地理隔离是物种形成的序幕”这一理论产生的问题（物种形成并不是他的用词）。例如，在一系列实验中，他将种子长时间地浸泡在海水中，并表明，即使经过长时间浸泡（长到足以使种子从大陆漂到邻近的岛上），其中仍有一些种子保留了发芽能力。另一方面，

他发现青蛙卵触海水即死，他利用这一点，很好地解释了青蛙的地理隔离这一显著事实：

> 关于海洋岛上整目生物缺失的情况，博里·圣樊尚（Bory St. Vincent）很久以前就说过，两栖类（青蛙、蟾蜍、蝾螈）从来未见于在大洋中分布的任何岛屿。我曾经煞费苦心地要验证这一断言的真伪，结果发现这一断言完全正确。曾有人向我保证，在新西兰大岛的山峰上存在一种青蛙，如果这个消息无误的话，我推测这个例外可以借由冰河期作媒介来进行解释。这种青蛙、蟾蜍、蝾螈在这么多海洋岛上普遍缺失的情况，不能归因于这些岛屿的物理条件不行。事实上，岛屿看起来特别适合这些动物的生存，因为青蛙被引入了马德拉（Madeira）、亚速尔（Azores）和毛里求斯岛（Mauritius），结果繁殖成灾。不过，据知这些动物和它们的卵触海水即死，因此根据我的观点，我们就可以看到它们在跨海传播方面为什么会有这么巨大的困难，也就理解了它们为什么不生存于任何海洋岛。但是，根据创造论，它们为什么没有被创造于岛上呢？这就很难解释。(注)

达尔文清楚地意识到，在他的进化理论中物种地理分布的重要性。他指出，如果我们假定动物和植物是进化来的，就可以解释大多数的事实。由此，我们应该期待（并且我们也的确发现了）现代动物往往生活在有与之相似的化石的同一个大陆，这些化石极有可能是这些现代动物的祖先，或者是它们祖先的近缘种。我们应该期待动物与同它们相似的物种共享同一个大陆（我们发现的确如此）。关于这个问题，下面是达尔文通过对他熟知的南美洲动物投以特别关注而得到的答案：

> 不过，比如博物学家在从北向南走的时候，必然会看到具有不同物种，但有明显联系的生物群发生互相更替，一种取代另一种，并对此印象深刻。他能听到类缘很近但是种类却不同的鸟

儿，鸣声相近，筑巢的方式差不多，但又不太一样，鸟卵的颜色也几乎差不多。麦哲伦海峡附近的平原栖息着一个美洲鸵属的物种，北部的拉普拉塔（La Plata）平原生活着同属的另一个美洲鸵属物种，但它们并不出产同纬度下非洲和澳洲发现的真正的鸵鸟或鸸鹋。同样在拉普拉塔平原，我们看到的刺豚鼠和绒鼠与我们的野兔和家兔的习性基本相同，也同属于啮齿目……但是它们明显地表现了一种美洲类型的结构。我们攀到科迪勒拉（Cordillera）的高山上，能发现一种高山种绒鼠；我们俯瞰绿水滨，虽然找不到河狸和麝鼠，但却能看到河狸鼠和水豚（美洲版的啮齿目）。注

这大部分是常识，通过这一方法，达尔文能够对广泛的现象给予说明。但是，也有某些关于动植物和岩层的地理分布的事实，需要一个不同类型的解释：一种不是“常识”的解释方式，如果达尔文知道这种解释的话，必定会大吃一惊，并且为之着迷。

---

1. 出自《贝格尔号环球航行记》（*The Voyage of the Beagle*）。维多利亚时代的博物学家往往会在他们的著作中直接作出这种评价。我的祖父母拥有的一本鸟类书籍上，关于鸬鹚的条目一开头便坦白地写道：“对于这种糟糕的鸟，没什么好说的。”

2. 在岛屿上，进化的规律似乎是这样的：大动物变小［例如，在如西西里岛（Sicily）和克里特岛（Crete）这样的地中海岛屿上，有着和大狗一样高的“侏儒象”］，而小动物则变大（如加拉帕戈斯陆龟）。有几种理论可以解释这种歧化趋势，但其中细节将会使我们跑题，远离本节所述内容。

3. 这些关于巨龟物种的段落，摘录自我的一篇文章，此文是我在加拉帕戈斯群岛的“猎犬号”（Beagle）上写的（不是那艘真船，真船已经不幸被毁坏无遗），发表在2005年2月19日的《卫报》上。

4. *Mount Ararat*，据《圣经》所载，大洪水后诺亚方舟曾停靠于此。——译者注

5. 引自《物种源始》，第393页，〔英〕达尔文著，李虎译，清华大学出版社，2012年。——译者注

6. 引自《物种源始》，第349页，〔英〕达尔文著，李虎译，清华大学出版社，2012年。——译者注

大地曾移动过吗？

在达尔文时代，所有人都认为世界地图是非常恒定的。达尔文的一些同代人，的确赞成用“巨型大陆桥曾经存在，如今已被淹没无遗”的可能性，来解释如“南美洲和非洲之间植物区系的相似性”这类问题。达尔文本人并不太相信大陆桥的说法，但他一定会因为现代证据表明“整块大陆在地球表面移动”而欢欣鼓舞。这为某些动植物分布的主要事实，提供了迄今为止最好的解释（特别是对化石的分布）。例如，南美洲、非洲、南极洲、马达加斯加岛、印度和澳大利亚的化石之间存在的相似性，如今我们可以通过“伟大的南方大陆冈瓦纳（Gondwana）曾经整合了这些现代陆岛”来解释。再一次地，我们后来的探测“被迫”得出“进化是事实”这一结论。

旧日所称的“大陆漂移说”，其首倡者是德国气候学家阿尔弗雷德·魏格纳（Alfred Wegener，1880—1930）。魏格纳观察世界地图，注意到一个洲或岛的形状常常和对面的海岸线吻合，就好像这两块陆地是两块拼图（即使双方相隔很远），但他并不是作出这种观察的第一人。我并不是在谈论美国本地的小例子，如将怀特岛（Isle of Wright’s）整齐地嵌接到新罕布什尔州海岸，就像索伦特（Solent）海峡几乎不存在一样。魏格纳和他的前辈注意到的，对非洲和美洲整个大洲而言，这种拼合似乎也是有效的。巴西海岸看起来像是被裁下的一样，吻合到西非隆起的南部，而非洲北部的隆起也很好地吻合北美洲从佛罗里达州到加拿大的海岸线。不仅仅是形状上的大致相符，魏格纳同样指出，南美洲东岸和非洲西岸的对应部位之间的地质层系也是匹配的。略微不明显的是，马达加斯加岛的西岸很好地吻合了非洲东岸（并不是今天非洲南部海岸与之相对的一部分，而是坦桑尼亚

和肯尼亚往北一点的海岸），而马达加斯加岛东岸长而直的海岸线和印度西部的直边相似。魏格纳还指出，如果世界地图一直都是以今天这样的方式存在，那么在非洲和南美洲发现的古化石之间的相似程度就太出乎人们的意料了。考虑到南大西洋的辽阔，这是怎么回事？难道这两大洲曾经非常靠近，甚至曾为一体吗？这个想法在当时令人着迷，但它超越了那个时代。魏格纳同样注意到了马达加斯加和印度两地化石的相似性，并且，北美洲北部和欧洲的化石之间，也类似地存在很生动的密切关系。

这些观察，使魏格纳大胆地提出了他的“异端邪说”——大陆漂移假说。他提出，世界上所有大洲都曾经联合在一起，构成一个巨大的超级大陆——他称之为“泛古陆”（Pangaea）。他提出，随着地质时间无垠的流逝，“泛古陆”逐渐自我分割，形成了今天我们所知的几个大洲，然后慢慢地漂移到它们目前的位置，并且漂移仍在进行中（图52）。

用今天流行的话说，人们几乎可以听到与魏格纳同时代的“怀疑派”纷纷嘀咕：“他吃错什么药了？”然而我们现在知道，魏格纳是对的。或者基本上是对的。虽然魏格纳具有远见卓识和伟大的想象力，但我必须明确地说，他的大陆漂移假说，与我们的现代板块构造理论仍有显著差别。魏格纳认为，大陆像巨轮一样，部分浸浮于水中，在海上乘风破浪地前进，就像怪医杜里特（Dr Dolittle）注的名叫“Popsipetl”的空心岛——不同的是，大陆是漂浮在这颗行星的半流质地幔上的。对此，其他科学家有足够的理由筑起怀疑的心垒——是怎样排山倒海的力量，能促使南美洲或非洲大陆这么大的物体移动数千英里？在介绍支持它的证据之前，我应该先解释现代板块构造理论与魏格纳理论有哪些不同。

在板块构造理论中，整个地球表面，包括海底多种多样的地形，组成了一系列像盔甲一样重叠在一起的岩层。我们所看到的“大

洲”，是板块高于海平面的加厚部分。每个板块都有更大部分位于海平面以下。与魏格纳的概念不同，板块并不是在海面上“航行”，或“犁”过地球的表面，板块*就是*地球的表面。不要像魏格纳那样认为，几片“大陆”自己把自己拼接在一起或彼此分开，事实并不是这样。请反过来想象，在一个被称为“海底扩张”的伟大过程中，板块在其成长的边缘之处，正在不断地被新造着（这一点我会在后面解释）。在另一侧的边缘，一个板块可能会俯冲到邻近板块之下；或者，这里邻近的板块可能会彼此沿边缘滑动。彩页17的图片展示了加利福尼亚州圣安德烈亚斯断层（San Andreas Fault）的一部分，这是太平洋板块和北美互相冲剪的边缘。海底扩张和俯冲相结合，意味着在板块之间没有空隙。整个地球表面都由板块覆盖，每个板块的消失都意味着它从另一边俯冲到邻近板块下面，或从另一个板块上滑过，而它的生长则来自别处的“海底扩张带”。



图52 从魏格纳的“大陆漂移”假说产生灵感的漫画

想象一下，必定曾经有一条巨大的裂谷蜿蜒藏身于冈瓦纳大陆之下——在未来的非洲和南美洲板块之间，这是多么激动人心！毫无疑问，这条裂谷首先要密布湖泊，就像现在的东非大裂谷一样；然后，随着地质构造的极度痛苦的撕裂，南美洲被撕离，裂谷将充满海水。想象一下这样的画面：一些矮胖的恐龙版的科尔特斯（Cortez）[注]立身于正在缓慢分离的“西冈瓦纳”之上，望穿这湾长长的狭窄海峡。魏格纳对诸陆的形状像拼图一样互补的判断，无疑是正确的。但他认为“大陆是巨筏，耕海一般穿过它们之间充斥海水的沟隙”则是错的。南美洲和非洲，以及它们的大陆架，仅仅是两个板块上增厚的部分，这两个板块大部分的岩石表面位于海平面以下。板块构成坚硬的岩石圈（真正的“岩石的圈”）漂浮在灼热、半熔状态的软流层（sphere of weakness）上。软流层不像岩石圈的岩性板块一样具有刚性和脆性，软流层具有柔性的感觉，其活动有点像液体：具有柔韧性，就像腻子或乳脂糖（不一定是熔融态的）。令人略感困惑的是，这两种同心球面之间的区别并不完全符合我们比较熟悉的（基于化学组成而不是物理性质）对“地壳”和“地幔”的区分。

大多数板块由两种不同类型的岩石构成的岩石圈组成。深海底覆盖着一层相当致密的火成岩，厚约1万米。这层火成岩上覆盖着沉积岩和泥土组成的表层。重申一次，“大陆”就是一个板块露出海平面以上的可见部分，它这么高是因为此处的板块表面被不太致密的岩层加厚了。板块在海平面下的部分在其边缘正在不断地生成——例如，南美洲板块是东缘，非洲板块则是西缘。这两个边缘构成了大西洋中脊，该中脊沿大西洋的中间，从冰岛蜿蜒向南，直到遥远的南方（事实上，冰岛是该中脊抵达海面的唯一显著部分）。

类似的海底山脊也正在世界其他地区喷涌出其他板块。这些海底山脊的作用方式就像被拉长的喷泉（在缓慢的地质时间尺度意义上喷涌）令熔岩不断涌上来，这就是我前面已经提到的所谓“海底扩张”的过程。在中大西洋，由海底扩张而来的边缘似乎将非洲板块向东推

动，而将南美洲板块向西推。人们将之形容为一对往不同方向延展的卷顶桌（rolltop desks），这一形容颇为贴切，但是我们要记住，这一切都是在一个过于缓慢的时间尺度上发生的，非人类的肉眼所能察觉。事实上，南美洲和非洲拉开的速度已经有一个令人难忘的比喻——手指甲生长的速度（这个比喻太过令人印象深刻，它已几乎成为老生常谈）。而目前“它们已远隔数千公里”的事实，进一步证明了地球年龄亘古悠长，不符合《圣经》所述。这可与我们在第四章谈论的放射性证据相比较。

刚才，我用了短语“似乎……推动”，我必须现在收回。它很容易让人想起那些沿各自的大陆板块，从后面推涌的“卷顶桌”。这是不切实际的；这种比例完全不对。板块过于庞大，以至于由沿洋中脊的火山力量从后面推涌是不可能的。就好比，游泳的蝌蚪想尝试推动超级油轮，那是不可能的。但现在，下面就是关键点。软流层，有准液体的性质——对流能传过其表面，从而扩展到板块的整个区域。在任何一个地区，软流圈都正慢慢朝着一致的方向移动，然后在更深的层面反向绕回。例如，南美洲板块的软流层的上层，正在义无反顾地向西。虽然不能想象上涌的“卷顶桌”的力量可以推动整个南美板块，但完全可以想象对流在板块的一个较低的层面之下缓慢而稳定地朝一个方向涌动，它就可以承担得起“浮动”大陆的“搬运工作”。我们现在已经不是在谈论蝌蚪。处在洪堡洋流中的一艘超级油轮，关掉发动机，的确会随流而动。

总而言之，以上就是“现代板块构造理论”。我现在必须转向那些证据，以表明它是真的。其实，正像被确立的科学事实那样[注]，这一理论也有很多不同种类的证据，但我只打算谈谈最引人注目的优雅证据——就是从岩石年龄得来的证据，尤其是从它们的“磁条”当中得来的证据。这几乎好得令人难以置信，完美地验证了我所说的“侦探在案发后才来到罪案现场”这一类比，不可阻遏地被引领到唯一的

结论。我们甚至有一些看起来非常像指纹的东西——存在于岩石中的“巨大的磁性指纹”。

我们可以随着看不见的“侦探”一起航行，在一艘定制的、能承受巨大深海压力的潜水艇中，跨越南大西洋。潜艇装备有向下钻取岩石样本的设备，它穿过海底表层沉积物，下探到岩石圈本身的火山岩；并且，它还有一个内置实验室，能用放射性定年法测定岩石样品的年龄（见第四章）。探测器被设置了一个程序，从巴西的马塞约港（Maceio）开始（纬度在赤道以南10°）向正东航行，驶过50公里左右的大陆架浅海（目前而言，算作南美洲的一部分），然后我们封闭高压舱，潜入水中（多么轻描淡写！），俯冲而下，达到一定深度，在那里，通常看到的唯一的光是偶尔闪烁的绿色荧光，来自居住在这个陌生世界的奇异生物。

当我们降到近6500米深，触到海底，我们向下钻火山岩石圈，并取到一块儿岩芯样本。船上的放射性年代测定实验室着手工作，报告其年代是白垩纪早期（约1.4亿年前）。潜艇平行于南纬10°纬线向东航行，以同样的间隔距离获取岩石样本。每个样本的年代都仔细测定，并且，这个“侦探”仔细辨识所有年代，想找到一种模式——他不必看很远，即使外行如华生博士（Dr. Watson）也不会错过它。当我们沿着海底的大平原向东航行，岩石显然是越来越年轻化，稳步地年轻化。在我们行至约730公里时，岩石样本来自白垩纪后期，大约是0.65亿岁，这恰好是最后的恐龙灭绝之时。当我们接近中大西洋，而潜艇的探照灯开始辨认出一个巨大的水下山脉的山麓范围，岩石年轻化的趋势继续着。这是在大西洋中脊，现在我们的潜艇必须开始上升。我们一边上升，一边不断地采集岩石样本，注意到岩石越来越年轻化。当我们到达脊峰时，这里的岩石是如此年轻，仿佛就是刚刚从火山涌出的新熔岩。事实上，几乎就是这样。最近一系列的火山喷发使阿森松岛成为大西洋中脊，海拔突出的一部分（好吧，最近大约是

指600万年前，同我们一路潜行所采的岩样的标准相比，确实可以说“最近”）。

现在，我们向非洲推进，在山脊的另一侧——东大西洋深海底部的平原。我们继续采集岩石样本，你已经猜到了——由于我们向非洲航行，岩石现在变得老龄化了。这是在我们到达大西洋中脊之前，就已经注意到的镜像对称的分布模式。我们的侦探可以毫不怀疑地作出解释。这两个板块，随着海底扩张远离山脊而彼此分离。来自山脊本身火山活动的所有新岩石，被附加到两个不同的板块，然后被这张或那张“卷顶桌”向着相反的方向，各自带走，这两张“卷顶桌”一个被我们称为“非洲板块”，另一个被称为“南美洲板块”。在彩页18~19，图片上用假色说明了这个岩石年龄演变的过程，红色表示最年轻的岩石。你可以看到，大西洋中脊两侧岩层年龄的分布互为镜像——真是精美绝伦。

这是一个多么美妙的故事！但还有更棒的。当探测人员在船载实验室处理样本时，他们发现了岩石样本的“更精妙之处”：从深层岩石圈采集到的岩芯略带磁性，就像指南针。这个现象很好理解。当熔岩凝固时，地球磁场令其构成火成岩的微小晶体发生极化，从而留下了地磁的印记。这些晶体就像凝结的微小指针，锁定的方向就是熔岩凝固之时它们所指的方向。现在，我们早已知道，地球的磁极并非固定，而是移动的，可能是因为地球核心的熔铁和熔镍混合物的缓慢流动。目前，北磁极位于加拿大北部的埃尔斯米尔岛（Ellesmere Island）附近，但它不会永远在那里。水手使用磁罗盘来确定正北时，需要寻找一个校正因子，而校正因子随着地球磁场的波动而每年都有所改变。

只要我们的侦探认真记录下他所钻取的岩芯的确切角度，则凝结于每个岩芯里的磁场就会告诉他，熔岩凝固成岩石的那一天地球磁场的位置。其理由是这样的：地球的磁场不定期地每隔几万年或几十万

年，就会发生完全逆转，大概是因为发生在熔镍/熔铁核心里的重大转变。北磁极翻转到原来的南极附近，而南磁极翻转到原来的北极附近。自然，岩浆从深海底部涌上来，凝固成岩的时候，就采取了那一天北磁极的位置。由于每几万年或几十万年，地磁极都会发生反转，所以磁力仪可以检测沿基岩生长的条纹：其中，指向一个方向的磁场条纹和指向另一个方向的磁场条纹相间排列。我们的侦探在地图上用黑色和白色分别标记它们。而当他观察地图上指纹一样的条纹时，他会注意到一个明确无误的模式。由于着色的条纹表示了岩石的绝对年代，大西洋中脊西侧的磁性指纹条纹和东侧的条纹，呈现为优雅的镜像。正如你所设想的，岩石的磁性产生于熔岩首先凝固在中脊时，然后以一个固定但很慢的速度，以相反的方向从山脊向外移动。这很简单，我亲爱的华生(注)。

回到第一节的术语，魏格纳的“大陆漂移假说”变形为“现代板块构造理论”是一个“试探性假说变成一个被普遍接受的理论或事实”的范例。板块构造运动在这一章是举足轻重，因为没有这些运动，我们就完全无法理解动植物在世界各大洲和岛屿的分布。当我谈到最初分隔两个初期物种的地理屏障时，我曾提出“地震令一条河的河道分流”的例子。我也提到，板块构造的力量，可使大陆分裂成两半儿巨大的碎片，并向相反的方向移动，碎片上携带着“动植物乘客”——这便是“大陆方舟”。

马达加斯加和非洲曾经是南方大陆冈瓦纳的一部分，冈瓦纳还包括南美洲、南极洲、印度和澳大利亚。约1.65亿年前，冈瓦纳古陆开始解体（按我们的认知标准，这一过程极其缓慢，简直令人心焦）。在这个时间点上，马达加斯加仍旧和印度、澳大利亚及南极洲联合在一起，构成东冈瓦纳，被从非洲的东侧驱离。大约是同时，南美洲从反方向被从西非驱离。东冈瓦纳大陆本身分裂的时间相当晚，而大约在9000万年前，马达加斯加最终从印度分离。旧冈瓦纳大陆的每个碎片都携带着它的动物和植物构成的“行李”。马达加斯加是一艘真正

的“方舟”，印度是另一艘“方舟”。上面的生物，如鸵鸟和隆鸟的祖先，可能起源于马达加斯加-印度，当时两者仍然连接在一起。后来，两者分裂了，那些留在“马达加斯加巨筏”上的，进化成为隆鸟，而鸵鸟的祖先随着印度这条“好船”航行，随后印度与亚洲相撞并形成了喜马拉雅山脉——鸵鸟的祖先遂被放生于亚洲大陆，并最终在此找到了通往非洲的路——非洲是它们今日所踏脚立足的主要领地（雄性鸵鸟确实用踏脚的方式打动雌性鸵鸟）。唉，我们再也见不到隆鸟了（或者说再也听不到这种隆鸟了，因为如果它们在地面跺脚，地都会颤动。真是可惜）。隆鸟体型之大，远远超过最大的鸵鸟，这些马达加斯加的巨鸟可能就是传说中的“大鹏”——《水手辛巴达（Sinbad）的第二次远航》中的重要角色。虽然这种鸟大到足够让一个人骑在它身上，但它们没有翅膀，所以根本不可能像故事里说的那样让辛巴达乘其高飞[注]。

现在已牢固确立的板块构造理论不仅说明了化石和生物分布的众多事实，也提供了更多的关于地球及其古老性的证据。因此，它对于神创论者来说，应该是“如鲠在喉”（至少对“年轻地球派”神创论者来说是这样）。他们要如何应对这一项诘难？说起来，他们的反应确实很古怪。他们不否认大陆的漂移，但他们认为，这一切都是在最近的诺亚洪水时代迅速发生的[注]。你可能会认为，既然他们在数量多、范围广的进化事实证据面前，会欣然地把那些不利于自己的证据打折扣，那么他们也会用同样的伎俩，处理板块构造的证据。但是没有——奇怪的是，他们接受了“南美洲曾和非洲紧贴在一起”的事实。他们似乎认为这是确凿的证据，但是对于进化这一事实的证据（只会比上述证据更强，不会更弱），他们却兴冲冲地否认了。既然他们这样轻视证据，人们不禁纳闷：他们为什么不一网打尽，简单干脆地否认整个板块构造理论。

在《为什么要相信达尔文》一书中，杰里·科因对地理分布的证据，进行了精湛处理。他是关于物种形成最权威的资深作者，其新著

的水平值得期待。那些当证据不支持其立场（《圣经》所言为真）时倾向于忽视证据的神创论者，受到了杰里·科因的迎头痛击：“如今，进化的生物地理学证据是如此强大，以至于我从来没有见过神创论的图书、文章或演讲试图反驳它。神创论者只是假装这些证据不存在。”神创论者的行为就好像只有化石为进化提供了唯一的证据。化石证据确实很强大。自达尔文时代以来，被发现的化石汗牛充栋，甚至可以装满许多火车车皮，而且所有证据，都积极地支持进化论，或与进化相匹配。更引人关注的是（正如我已经强调过的），没有一个化石与进化论相悖。然而，我想再次强调这一点——再强有力的化石证据，也不是我们所有证据中最强的。即便是未曾发现过一块化石，仅从现存动物那里得到的证据，仍然会压倒性地迫使我们得出结论——达尔文是对的。“案件发生后才抵达犯罪现场的侦探”所能收集的尚存的线索证据，要比化石证据更不容置疑。在本章中，我们已经看到，岛屿和大陆上的动物分布恰恰是我们所预期的——它们都有亲缘关系，都是从很久以前的共祖进化而来的。在下一章里，我们将在现代动物之间进行相互比较，观察其特征在动物界的分布，尤其是比较它们的遗传密码序列，并得到同样的结论。

---

1. 《怪医杜里特的故事》是欧美经典童话，以杜里特为主人公，讲述了他和一群动物朋友的故事。——编者注

2. 荷兰多·科尔特斯，1485年出生于西班牙，墨西哥征服者。在济慈诗作《初读贾浦曼译荷兰有感》中，以鹰隼的眼凝视大洋是这位征服者的标志性动作。——译者注

3. 就像“现代进化理论”，“理论”这个词的一般意义是指一个既定事实：我在第一章引用的“理论”在《牛津英语词典》中的第一个定义，并重命名为“theorum”。

4. 唉，福尔摩斯从来没有这样说过［就像罗伯特·彭斯（Robert Burns）从未写过“友谊地久天长”］，但是，因为每个人都认为他做过，所以暗示作用就发生了。

5. 事实上，比例的物理定律决定了像隆鸟一样大的鸟类根本不能纵情于有力的拍翅飞翔，不管它们的翅膀有多大。这是因为要驾驭如此厚重的翅膀，需要肌肉变得非常大，大到它们不能撑起自身的重量。

6. 这是一个令人瞠目的图景：南美洲和非洲快速地彼此分离，速度比人游得还快，并且连续游40天！

第十章 亲缘关系树

骨与骨相连

哺乳动物的骨架是一件多么伟大的杰作！我这里并不是说它本身很美（尽管我认为它本身确实很美），我的意思是“我们居然可以谈论哺乳动物的骨架”这一事实就令人惊讶——这些错综复杂的骨架的各个部分，在整个哺乳动物纲中呈现出惊人的差别，但同时又如此明显地是同一种东西。我们对人类自己的骨架，已经非常熟悉，不需要图片，但是，请看一看图53中这只蝙蝠的骨架。它的每一根骨骼都明确对应了人体中的某一骨骼，这难道不令人着迷吗？这些骨骼对应关系之所以可以识别出来，是由于骨骼彼此组合在一起的顺序一致，只是大小比例不同。当然，相对于蝙蝠的总体躯干来说，蝙蝠的“手”是巨型扩大的，但没有人会错认我们的手指和那些翼手的长骨之间的对应关系。很明显，任何一个神智正常的人都会承认：人类的手和“蝙蝠的手”是同一事物的两个版本。描述这种同一性的术语是“同源性”（homology）。蝙蝠用来飞行的“翼”和我们用来抓握的“手”是“同源的”。共祖的手（及骨架的其他部分）沿着不同后裔的进化系谱，被一点一点地，在不同方向和程度上，进行了拉伸或压缩。

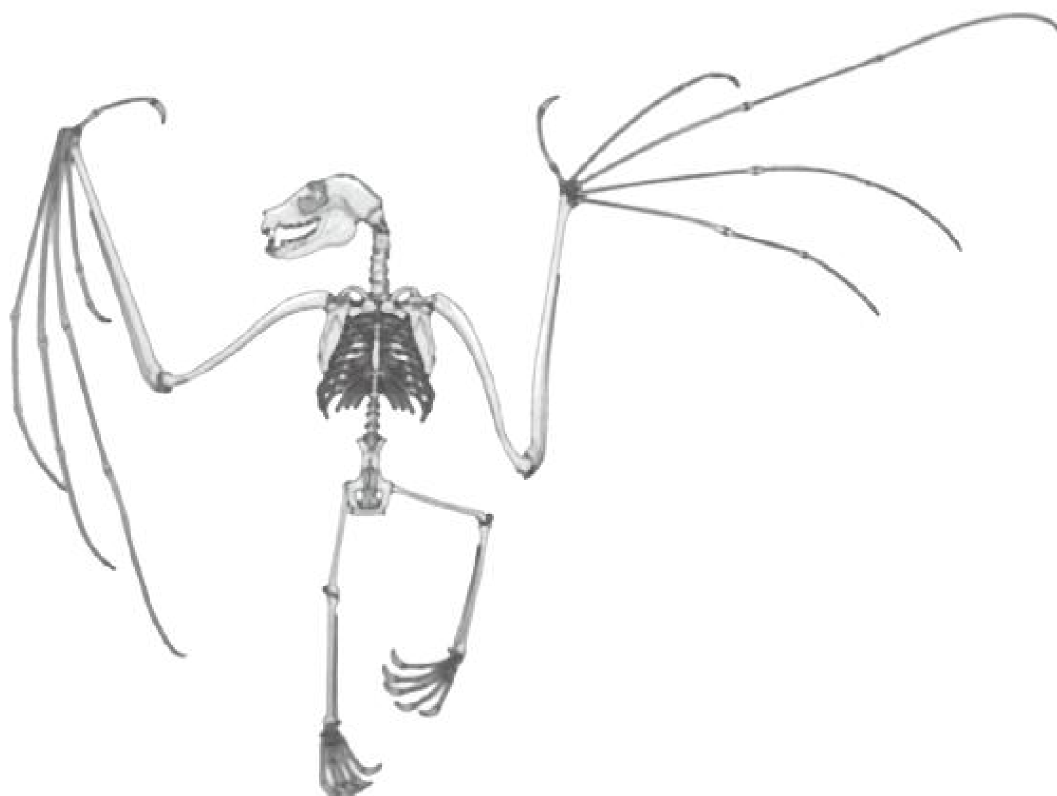


图53 蝙蝠的骨架

尽管依然有不同的比例，但翼手龙的“翼手”同样适用上述原则（虽然它不是哺乳动物，但是上述原则同样有效，这使得该原则更令人印象深刻）。这只翼手龙（见图54）的翼膜很大程度上是附在单独一根“手指”上的，对应我们所谓的“小拇指”或“小指”。我承认，由这根小拇指承担了这么多的重量，令我感到了一种“由同源性激发的恐惧症”，因为人类的小指显得如此脆弱。我们当然傻眼了，因为翼手龙的小指，根本就不“小”，它的长度已超过了大半个躯干，它用起来大概会感到非常结实强壮，正如我们挥舞手臂的感觉。再一次，它可以说明我正在阐述的观点。为了能撑起翼膜，第五根手指被“改良”了。所有的细节都变得不同，但是凭借它与骨架中其他骨骼的位置关系，我们仍然能认出它是小指。这根长且强壮、支撑飞翼的支柱，和我们的小指同源。在翼手龙的世界里，“小拇指”意味着“极其伟大的支柱”。

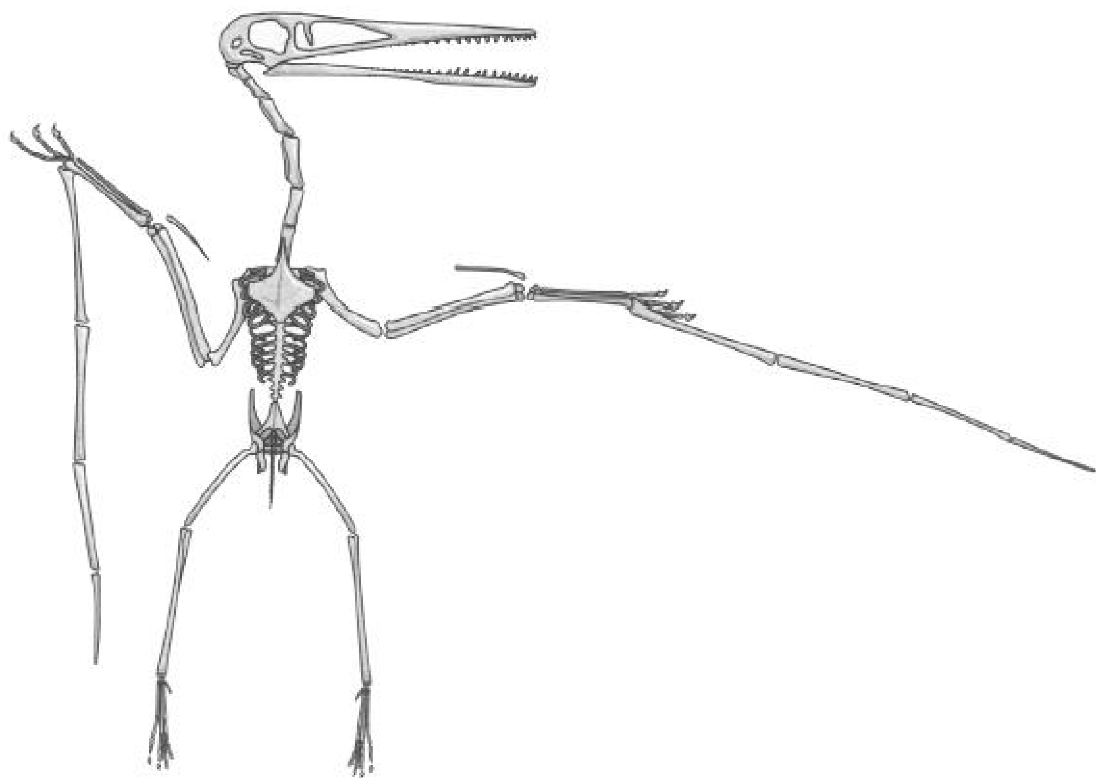


图54 翼手龙的骨架

除了真正的飞行动物（鸟类、蝙蝠、翼龙和昆虫），还有很多其他动物可以滑翔：这种习性可能会告诉我们关乎“真正的飞行”之起源的一些事情。滑翔动物拥有需要骨骼支撑的滑翔膜，但它并不一定来源于手指骨，不一定与蝙蝠和翼手龙的翼手情况相同。鼯鼠（分为两个亚族的啮齿动物）和袋鼯（澳大利亚的有袋动物，看起来和鼯鼠几乎一模一样，但不近缘），通过伸展生于胳膊和腿之间的皮膜滑行。单根手指并不需要承受多大的负荷，它们也没有被拉大。我患有小指恐惧症，所以更乐意做一只鼯鼠，而不是做一只翼手龙，因为感觉用整只手臂和腿来做承载工作才对头嘛！

图55中是一只所谓的“飞行蜥蜴”（另一种优雅的“森林滑翔家”）的骨架。你可以立即看到，它的肋骨被改良来支撑“翅膀”（飞行膜），而不是手指、手臂或腿。这又一次完全清楚地表明了：

这种脊椎动物的骨架，作为一个整体与其他脊椎动物骨架具有相似性。在任何情况下，你都可以一块一块地仔细检查每块骨骼，辨认出它们与人类或蝙蝠或翼手龙的骨架上精确对应的骨骼。

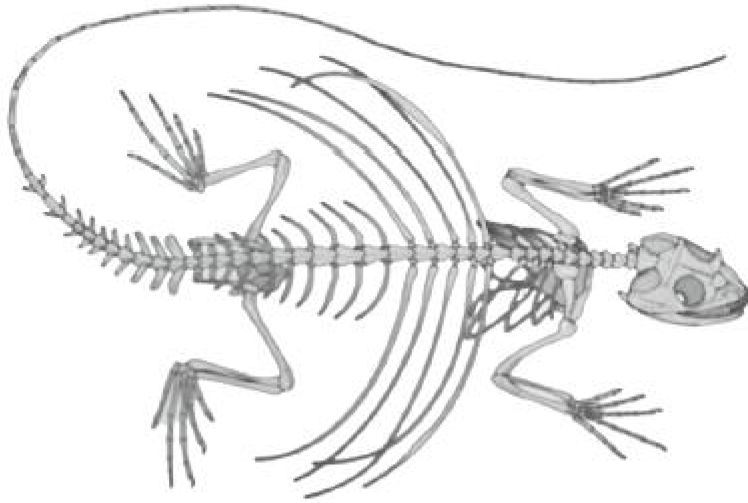


图55 “飞行蜥蜴”的骨架

东南亚森林里的猫猴（或者说“飞狐猴”）和鼯鼠还有会飞的袋貂都长得很像，只有一样不同——它的尾巴跟手臂和腿一样，也被囊括在支撑飞行膜的结构里。我感觉这很不对劲儿，因为我完全无法想象长一条尾巴是什么感觉，虽然我们人类，以及所有其他“无尾”的类人猿，都有一个尾巴的残迹（埋在皮下的尾骨）。对于我们这些几乎“无尾”的“猿”来说，我们很难想象做一只蜘蛛猴会是什么感觉——蜘蛛猴的尾巴是整个脊柱的主要组成部分。你可以从彩图的第26页的照片里，看到它的尾巴有多长，甚至比已经很长的胳膊和腿还要长。正如许多新世界的猴子一样（事实上，许多新世界的哺乳动物通常都是这样，这是一个奇怪的事实，很难解释），蜘蛛猴的尾巴是“可抓握的”，这意味着，为了能够抓握，它被改良了，它似乎变成了一只额外的手，虽然它和真正的手并不同源，也没有手指。事实上，蜘蛛猴的尾巴看起来很像一条额外的腿或手臂。

也许，我并不需要再次重复这个原则了。蜘蛛猴尾巴的基本骨架像任何其他哺乳动物的尾巴一样，只是被改良了，以发挥不同的功能。好吧，尾巴本身是不太一样：蜘蛛猴的尾巴被分派了更多的椎骨，但可以辨认出额外的椎骨本身和其他任何一条尾巴的椎骨都是相同的东西，包括我们自己的尾骨。你能想象做一只有五只抓握的“手”的猴子会是什么感觉吗——在每条腿的末端、每条手臂，还有一条尾巴的末端各有一只“手”——用其中任何一只“手”你都可以愉快地挂着？我想不出来。但我知道，蜘蛛猴的尾巴和我的尾骨同源，就像翼手龙非常长而强有力的翼手骨和我的小指同源一样。

这里有另一个令人惊讶的事实。马蹄和你中指的指甲同源（或和你中脚趾的趾甲同源）。实事求是地说，马才是用“脚尖儿”走路的，而我们说自己用脚尖儿走路，其实是吹牛。马几乎完全失去了自己的其他脚趾和指头。马身体中和我们的食指和无名指同源的对应结构，及后肢中的对应结构，以微小的“赘骨”（splint bones）的形式残存下来，组合到了“炮骨”（cannon bones）中，外观上已不可见。“炮骨”和隐埋在我们手中的掌骨（或隐埋在我们脚里的跖骨）同源。马的整个重量（在如夏尔马或克莱兹代尔马的例子中是很重的）由中指和中趾承担。它们同（例如）我们的中指或蝙蝠的中指的同源性，是明明白白的，这一点无可争辩，并且，仿佛是为了把揭示工作做到家，畸形马有时生来就每条腿有三个脚趾，中间的一个用作一只正常的“脚”，两侧有两个小型蹄（见图56）。

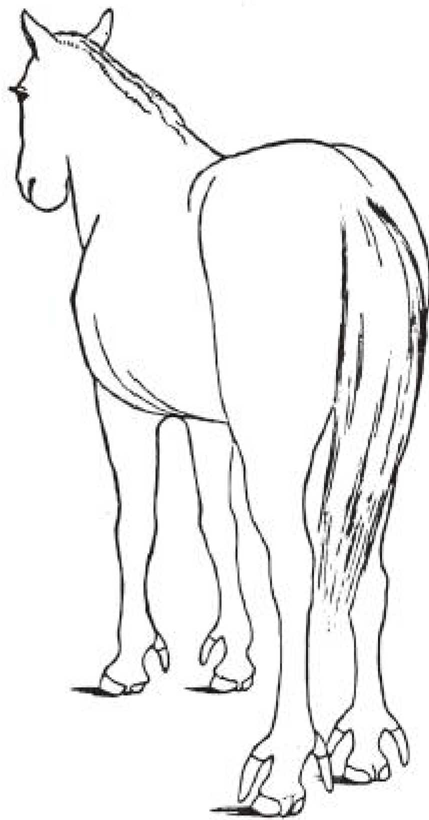


图56 多趾畸形马

亘古以来，生命发生了近乎无限的改变，但每个改变后的形式，都保留着原有的、明确无误的痕迹——你能看到这个思想是多么美妙吗？我要赞美滑距骨兽类（已灭绝的南美食草动物），它们不与任何现代动物近缘，也和马非常不同——除了两者拥有几乎相同的腿和蹄。北美(注)的马和南美的滑距骨兽类（当时南美还是一个巨岛，巴拿马地峡还未形成）各自独立地进化，恰好同样地减少了除中间指/趾以外的所有指/趾，而且在末端长出相同的蹄。大概对于草食性哺乳动物来说，想成为跑得很快的动物没有多少其他的方法了。马和滑距骨兽类动物恰巧以同样的方式进化（减少所有的指/趾，只留中间的一个），并且得到了同样的结果。牛和羚羊选择了另一种解决方案：减少所有的指/趾，只留两指/趾。

下面这句话听起来有点自相矛盾，但你可以看到它是多么有道理，并且作为一个观察现象，它有多么重要。所有哺乳动物的骨架具有同一性，但它们的骨骼个体则相异。悖论不悖，其原因在于我谨慎地把“有序互接骨骼的集合”称为“骨架”。据此观点，单个骨骼的形状和“骨架”的性质无关。在这个特殊意义上，“骨架”无关单个骨骼的形状，仅仅与它们的组装顺序有关，用以西结[注]的话来说，就是“骨与骨相连”，并且其意思表达成了下面生动的歌词：

趾骨连着脚骨，

脚骨连着踝骨，

踝骨连着小腿骨，

小腿骨连着膝盖骨，

膝盖骨连着大腿骨，

大腿骨连着胯骨，

胯骨连着背部骨，

背部骨连着肩骨，

肩骨连着颈骨，

颈骨连着头骨，

我听到了主的话！

这首歌可以真真切切地适用于任何哺乳动物，甚至适用于任何陆地脊椎动物，且比这些措辞所表明的要详细得多。例如，你的“头骨”或曰“头盖骨”，包含28块骨头，大多是以刚性连接“缝合”在一起的，但有一个大型可动骨（下颌骨[注]）。而奇妙的事情是，在所有的哺乳动物中，无论其头骨多么古怪，均发现了由28块骨头构成的相同组合（图57、图58），每一块都可以清楚地用相同的名称标记。

你的颈骨连着你的枕骨，

你的枕骨连着你的顶骨，

你的顶骨连着你额骨，

你的额骨连着你的鼻骨，

……

你的第27块骨连着你的第28块骨……

这一切都是相同的，尽管这些具体的骨头的形状，在哺乳动物之间彼此完全不同。

从上述所有文字中，我们能得出什么结论？我们在这里，将自己局限在“现代动物”，所以，我们看不到动态的进化过程。我们是案发后才来到现场的侦探。而如果现代动物都从一个共祖进化而来（时间上有早有晚），那么它们骨架之间具有的相似性所呈现的模式，就完全在我们的意料之中了。祖先的骨架随着年代变迁，已被逐渐修改。有几对动物拥有的共祖非常晚近（如长颈鹿和獾㹢狓(注)，见图59、图60）。严格地说，将长颈鹿形容成“一只垂直拉长脖子的獾㹢狓”并不正确，因为两者都是现代动物。但其共祖可能看起来更像獾㹢狓，而不是长颈鹿，这是一个比较合理的猜测（这种猜测得到了化石证据的支持，但我们不在本章讨论化石的问题）。同样，羚羊和角马(注)互为对方的近缘“堂兄弟”，和长颈鹿与獾㹢狓这一对动物则是较远的“堂兄弟”。这四种动物和其他偶蹄目动物则是更远的亲戚，如猪和疣猪（它们彼此具有亲缘关系，且同属于野猪科）。所有偶蹄目动物，都是马和斑马（非偶蹄目，且互相近缘）的远亲。只要我们愿意，我们可以一直继续下去，把成对的“堂兄弟”分组，再对“堂兄弟”的“堂兄弟”分组，形成{堂兄弟组[相对近缘的堂兄弟组（最近缘的堂兄弟组）]}。瞧，我已经自动地悄悄使用起中括号和大括号了，而你知道它们意味着什么。你立刻也就能明白下面的括号

的意思，因为你已经知道了，“堂兄弟”拥有共同的隔代祖先，第二层关系的“堂兄弟”拥有共同的曾祖，依此类推：

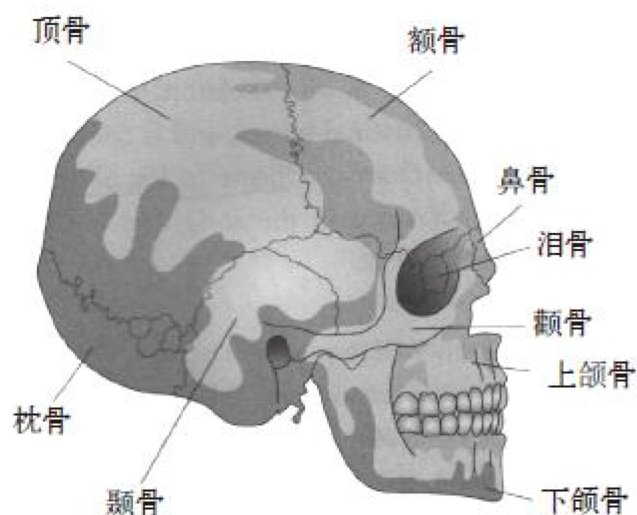


图57 人类的头骨

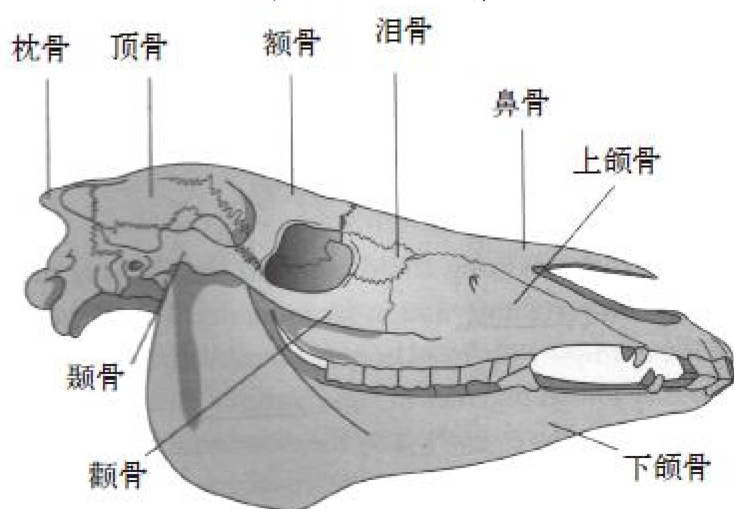


图58 马的头骨



图59 长颈鹿

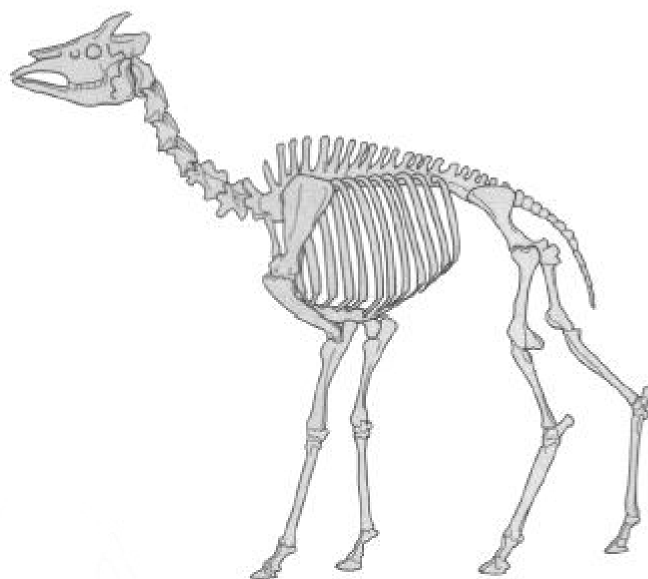


图60 獾㹢狓鹿

{（鬣狼、狐）（狮、豹）}{（长颈鹿、獾㹢狓）（斑羚、角马）}

一切都指向一个简单的祖先分支树——一个家系树。

我曾暗示，相似性的树状图是一个真正的系谱，但我们非得出这个结论不可吗？是否有任何其他可能的解释呢？好吧，勉强有！在发现相似性的层进模式之前，达尔文时代的神创论者们，也有一个“非进化论”的解释——一个尴尬的、牵强至极的解释。在他们看来，相似性的模式，反映了设计师头脑中的“主题式设计”。对于如何制造这许多动物，设计师有很多种理念。他的诸多理念沿着哺乳动物的主题设计展开，而后，又有许多其他理念独立地沿着昆虫的主题设计展开。在哺乳动物的主题里，设计师的理念整齐、逐层地平分到各个分主题（如偶蹄类的主题）和次分主题（如猪的主题）。这是一种强烈诡辩性和一厢情愿的思考模式，而如今的神创论者已很少诉诸这种解释。事实上，与来自地理分布的证据（我们在前一章讨论的）一样，

他们很少讨论类比证据，宁愿坚持讨论化石——在这个方面，他们被（错误地）教导，认定化石是“许给他们的福地”。

---

1. 你听到“马是在北美进化的”可能会惊讶，因为众所周知，当欧洲侵略者首次来到美洲，他们在马背上的风姿令当地土著惊叹。马的大部分进化确实发生在美洲。然后在绝迹于美洲之前，马在很短的时间里（依据地质标准）传播到世界其他地方。马本是美洲动物，却是被人工重新引入美洲的。

2. 以西结：希伯来先知，《圣经・旧约・以西结书》的作者。——译者注

3. 下颌骨，哺乳动物骨架中一块单独的骨骼。爬行动物的下颚更复杂——因此，我很不情愿地从这本书里略去了它引人入胜的故事（要适可而止）。一个令人惊叹的进化技巧，令爬行动物那些小一些的下颌骨被收入哺乳动物的耳朵里，在那里它们构成了一个玲珑精致、可以从耳膜向内耳传递声音的桥梁。

4. 獾㹢狓一种直到1901年才在非洲扎伊尔森林发现的大型哺乳动物，又称作欧卡皮鹿。它是长颈鹿科中的一种偶蹄动物，与长颈鹿有亲缘关系，是长颈鹿唯一尚未灭绝的近亲。——译者注

5. 较之gnu（角马），来源于荷兰语的单词wildebeest（角马）被日渐优先地使用。我一直尝试保留“gnu”，因为如果这个单词完全消失，由佛兰德斯（Flanders）和斯万（Swann）创作的诙谐歌曲，将不再有意义。（“Gnor am I in the least / Like that dreadful hartebeest / Oh gno gno gno, I’m a gnu!”）

不得借用

为了强调“造物主必须严格坚持主题式生物设计，不得彼此借用”这种要求是多么奇怪，就请大家想一想——如果对工作有利，任何明智的人类设计师，都相当喜欢从自己的其他发明中“借用”某一想法。也许飞机设计的“主题”和列车设计的“主题”是相互独立的，但飞机的一个配件，例如座位上方阅读灯的改进设计，很可能也会被借用到火车上。如果它能为两者达到同样的目的，为什么不借用呢？当汽车最初被发明出来的时候，它的名字——“无马的马车”，就告诉我们，它的某些设计灵感是从何而来。但马拉的车辆并不需要方向盘——马匹是用缰绳驾驭的——方向盘的设计必然有其他来源。我不知道它来自何处，但我怀疑它是从完全不同的技术中借来的——造船术。在被方向盘（大约19世纪末才被引进）取代之前，原始的汽车转向装置“舵杆”，也是从“船”上借用的，但其位置从船的后方移到了车辆前方。

如果“密被羽毛”是“鸟类设计主题”的一个好想法，以至于每一只鸟，不论是否会飞，都无一例外地密被羽毛，为什么任何一只哺乳动物都完全没有羽毛？为什么设计师没有为至少一种哺乳动物（如蝙蝠）“借用”羽毛这一巧妙的发明？进化论者的答案是明确的——所有鸟类，从它们有羽的共祖那里，继承了自己的羽毛。这个祖先没有哺乳动物的后裔。就这么简单！(注)相似性之树就是一个系谱。生命之树的每一个分支、每一个分分支、每一个分分分支，都有着同样的故事。

现在，我们遇到了一个有趣的问题。有很多精彩的例子，表面上看起来，似乎其理念已被从系谱树的一部分“借用”，嫁接到了另一

部分——就像一个苹果品种嫁接到一枝砧木上。海豚（一种小鲸）表面上看起来就和各种大型鱼类一样。大型鱼类之一，剑鱼（*Coryphæna hippuris*）甚至有时也被称为“海豚”。剑鱼和真正的海豚有着相同的流线型外形，适应它们相似的生活方式——在近海面处快速捕猎。但它们的游泳技术，虽然表面上类似，却并非互相“借用”的——正如只要你注意一下细节，很快就可以看到的一样。虽然两者都是主要从尾部获得它们的速度，但剑鱼像所有的鱼一样，尾巴左右摆动；而真正的海豚，其上下拍尾游动的方式，泄露了它的哺乳动物出身。鱼类祖先通过脊椎左右摇摆的波动行进的方式，已由蜥蜴和蛇继承，几乎可以说，后两者是在陆地“游泳”。你可以将它们的运动方式与奔马或猎豹的运动方式做个比较。鱼类和蛇一样，其速度来自脊柱的弯曲动作；但哺乳动物的脊柱是上下弯曲的，而不是左右摆动。这里有一个有趣的问题——哺乳动物的祖先是如何从左右摇摆过渡到上下摆动的？也许存在一个中间阶段——几乎不能向任何一个方向弯曲脊椎，好比青蛙。另一方面，鳄鱼能够快速驰骋（快得可怕），也可以用爬行动物更传统的蜥蜴类步态爬行。哺乳动物的祖先一点儿也不像鳄鱼，不过也许鳄鱼给我们展示了“一个中间过渡性的祖先会以怎样的方式结合两种步态”。

无论如何，鲸豚类的祖先，是实实在在的陆地哺乳动物——它们可以疾驰过整个草原、沙漠或苔原，拥有可以向上和向下弯曲的脊柱。并且，当它们返回大海，它们保留了祖先脊椎上下起伏的运动方式。如果说，蛇是在陆地上“游泳”，那么海豚就是在海中“飞驰”！因此，可能表面上看来，海豚也像剑鱼一样拥有分叉的尾片，但它被设置在水平方向，而剑鱼的尾巴则排列成垂直平面。海豚的发育史还写满于身体的其他许多部位，而且，我会在下一章里再介绍它们。

还有其他例子——表面上看相似程度甚高，以至于似乎很难排除“借用”假说，但仔细对比的结果表明，我们必须否认这是借用。动

物之间可以看起来非常相似，相似到你觉得它们一定有亲缘关系。尽管“相似之处”令人印象深刻，然而当你审视整体的时候，结果我们发现，差异性却远多于相似性。两种“球虫”是彼此相似的小生物（见图61、图62），它们都有很多的腿，习惯于像犰狳一样卷成一个保护球。事实上，这可能是拉丁名球鼠妇属（*Armadillidium*）的起源。这是一类“球虫”的名字——一种叫作土鳖虫（鼠妇）的甲壳纲动物，与虾有亲缘关系但生活在陆地上，它用鳃呼吸，这就必须要保持生存环境湿润，这一点暴露了它近缘的水生祖先。不过，这个故事的重点是，有一种完全不同的“球虫”，根本就不是甲壳纲动物，而是“马陆”。当你看到马陆和土鳖虫卷曲身体，你会觉得，它们几乎一模一样。然而，它们一个是进化后的土鳖虫，另一个是进化后的马陆（朝同一方向修改）。如果你将它们展开，并仔细观察，你会立即看到它们之间至少有一个重要的区别。球马陆大多数体节上都有两对足，而鼠妇只有一对。所有这些无尽的修改，难道不美妙吗？更细致的检查表明，在许许多多的方面，球马陆确实像更一般的马陆。而它与土鳖虫的相似之处则限于表面——是趋同进化。

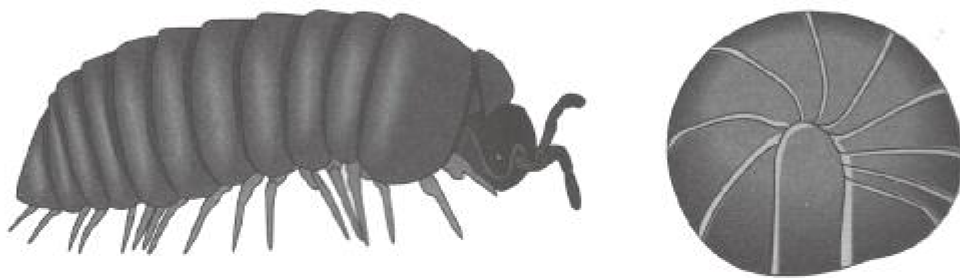


图61 球马陆

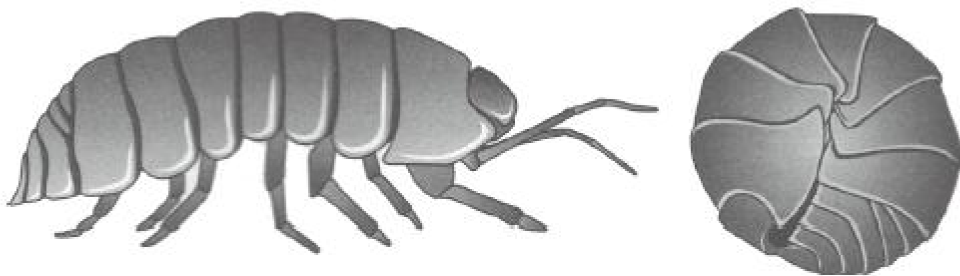


图62 鼠妇

如果不是动物学家中的专门家，几乎任何动物学家看到上面的头骨（图63）都会说：这是一只狗的头骨。而专门家会由于注意到上面有两个显著的上颚孔，发现这不是真正的狗的头骨。这一特征是有袋类特有的——有袋类是现今大多生活在澳大利亚的一大类哺乳动物。事实上，图63中是袋狼属（*Thylacinus*）动物——塔斯马尼亚虎的头骨。袋狼和真正的狗（如澳洲野狗，它和袋狼在澳大利亚和塔斯马尼亚属于竞争关系）演化出了非常相似的头骨，因为它们有类似的生活方式（曾经有，唉，不幸的袋狼）。



图63 袋狼——“有袋的狼”或“塔斯马尼亚虎”的头骨

在动物的地理分布一章，我已经提到过澳大利亚壮观的有袋类哺乳动物群。本章的相关要点，是这些“有袋类”哺乳动物和对应的种类繁多的“胎盘类”哺乳动物（即“非有袋类”哺乳动物）之间的一再趋同（胎盘类哺乳动物在世界的其他地区占主导地位）。尽管谈不上“完全相同”，甚至是表面的特征都不太相同，然而，图64中的每个有袋动物都和与之对等的胎盘动物（最近似地操持着相同营生的胎盘动物）十分相似——这给我们留下了深刻印象，但其相似肯定不足以令人想到“这是由一位造物主‘借用’来的”。

“通过有性繁殖，对基因库中的基因进行重组”可被视为借用或共享“基因创意”，但“通过有性繁殖进行基因重组”只限于一个物种内部，因此与本章节无关——本章只讨论物种之间的比较，如有袋

类哺乳动物和胎盘类哺乳动物之间的比较。有趣的是，DNA大量“借用”的现象普遍存在于细菌中。在一个有时被视为是“有性繁殖的先驱”过程中，细菌（甚至是彼此关系相当远的细菌菌株）随意放纵地交换DNA的“创意”。“借用创意”的确是细菌获得有利“性状”的主要途径之一，例如获得对特定抗生素的抗性。

这种现象通常被称为“转化”（transformation），这是一个相当无用的命名；这是因为1928年英国细菌学家弗雷德里克·格里菲斯（Frederick Griffith）发现这一现象时，尚无人知晓DNA。格里菲斯发现，无毒的链球菌可以从一个完全不同的菌株上获得毒性，即使后者已经死掉了。如今，我们会说，无毒菌株把死掉的有毒菌株的一些DNA纳入了它的基因组中（DNA无关“死活”，它只是编码的信息而已）。用本章的表述语言来说，无毒菌株“借用”了有毒菌株的遗传“创意”。当然，“细菌从其他细菌中借用基因”与“某设计师从某‘主题’借了他自己的想法，并重新用于另一主题”是截然不同的两件事。无论如何，这是非常有趣的，因为如果在动物之间“借用基因”就像在细菌之间一样常见的话，就会令人更难反驳“设计师借用”这一假说。假如蝙蝠和鸟类在这方面像细菌那样行事，将会怎样？假如鸟类的大段基因组可以转运（也许是通过细菌或病毒感染的方式）并植入蝙蝠的基因又会怎样？也许某一种蝙蝠会突然长出羽毛——在遗传上用类似电脑的“复制和粘贴”方式，借用了编码出羽毛的DNA信息。

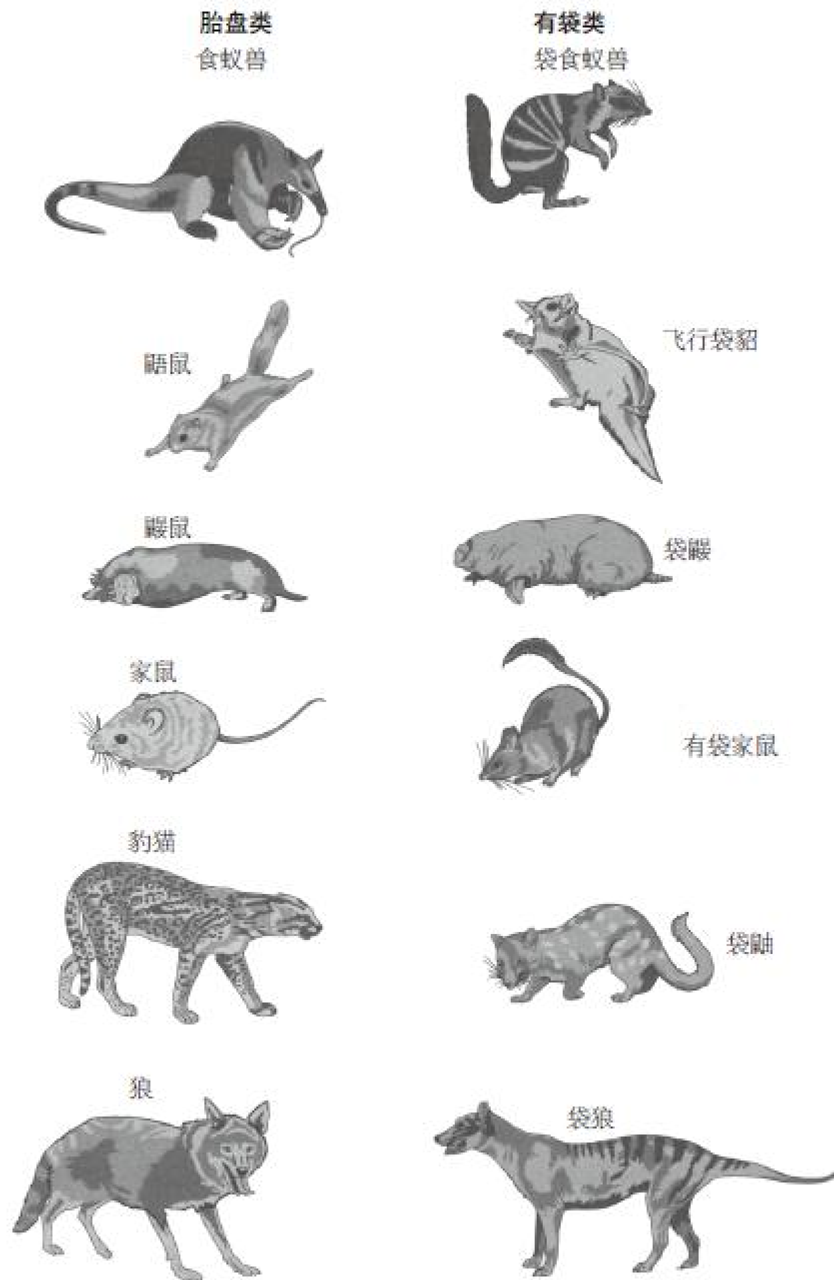


图64 有袋类哺乳动物和胎盘类哺乳动物对应物种

与细菌不同，在动物界，基因交换看起来几乎完全被限制在物种内的“性交”中。事实上，一个物种，可以被很恰当地定义为“一个在它们之间进行基因交换的动物集合”。某物种的两个种群，一旦分居了足够长的时间，以至于它们之间不再能通过有性繁殖交换基因（正如我们在第九章看到的，这通常发生在经历了强迫性地域分离的

初级阶段以后），我们就将它们定义为两个独立的物种，它们将永远不会再次交换基因，除非受到人类的“基因工程师”的干预。我的同事乔纳森·霍奇金（Jonathan Hodgkin）作为牛津大学的遗传学教授，知道对于“基因交换局限于物种内”这一规则，只有三个实验性的例外：线虫、果蝇，还有能在更大范围“借用”基因的蛭形轮虫(注)（图65）。

最后的这个类别尤其有趣，因为它们在真核生物的主要族群中很独特——它们没有性别之分。可能是因为它们已经返祖回到古细菌交换基因的方式，所以它们能够不再需要性别了？跨物种的基因交换似乎在植物中较常见。寄生性植物菟丝子（*Cuscuta*）就会将基因捐献给它所缠绕生长的宿主植物(注)。

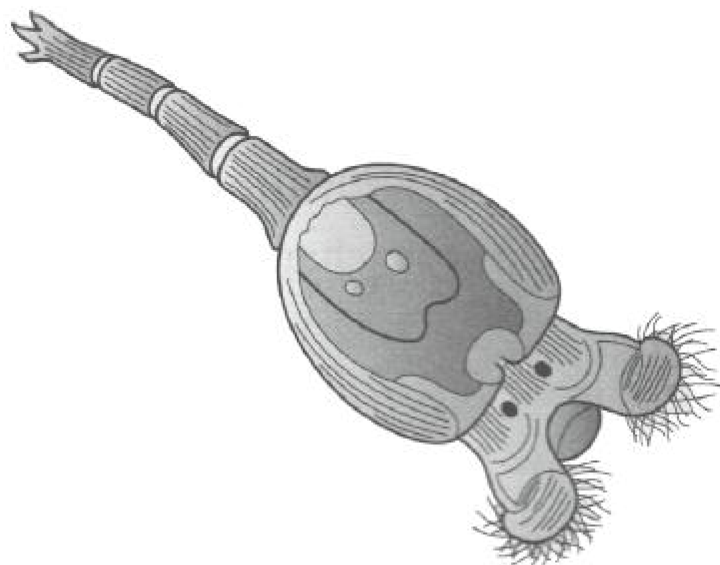


图65 蛭形轮虫

对于转基因食品的政治，我的态度犹豫不决——一方面它对农业有潜在好处，另一方面是小心预防的本能，我处在中间，被两头撕扯。但是，这里值得简要提及一下我以前没有听说过的一个争议话题。那就是——今天的我们咒骂前人只为玩乐就把动物物种引入陌生土地。美国灰松鼠被引进到英国，是通过一位心血来潮的轻浮的前贝

德福德公爵：在我们现在看来，这是灾难性的不负责任。有趣的是，不知道未来的分类学家，是否可能会遗憾地叹息我们这一代人混搅基因组的方式——例如，把北极鱼的“反冻结”基因转到西红柿内，以使它们免于霜冻。一个使水母发荧光的基因，已经被科学家“借用”并插入了马铃薯的基因组，希望当马铃薯需要浇水时，该基因会使它们亮起来。我甚至获悉一个“艺术家”设计了一个由借助水母的基因而发光的狗群组成的“装置”。这种所谓的设计以自命不凡的“艺术”之名，令所谓的“科学”斯文扫地，让我浑身上下都不舒服。但这种伤害还可能更进一步吗？这些无聊的任性妄为，会破坏未来对进化关系之研究的有效性吗？其实我很怀疑这种事情会发生，但为了防患于未然，也许至少是值得提出来这一点。毕竟，预防原则的整个立足点，就是要避免（可能目前尚无明显危险的）选择和行动对未来的影响。

---

1. 我相信我的读者都知道《利未记》（*Leviticus*）的作者（们）就认为蝙蝠是鸟。在其第十一章，13~19行诗句，是一个可憎的鸟类的长名单，从鹰开始，以“鹳、苍鹭之类、麦鸡与蝙蝠”结束。这里有一个另外的问题：为什么在许多宗教中，总是要谴责某些可憎的动物？

2. 蛭形轮虫是一种无性繁殖的淡水无脊椎生物，身体长约0.1~1毫米。蛭形轮虫在大约4000万年前进化到无性繁殖阶段，产下的卵全都是雌性后代。生命力顽强得让人惊奇，在生命的任何阶段，都能在无水环境下存活数年而不完全脱水，在重回水中之后又会复苏。除此之外，它还抗辐射。蛭形轮虫一直因为其通过无性繁殖而又没有被自然界淘汰灭绝而引起科学家的注意。美国2008年5月29日的一项最新研究成果显示，这种微生物的秘诀在于它会“偷取”其他生物有用的基因，合并到自己的遗传信息中为自己与后代所用。蛭形轮虫的发现，推翻了动物需要通过交配来创造生物多样性的理论。（http://baike.baidu.com/view/861322.htm）——译者注

3. 生物学家曾经引用植物血红蛋白作为一个植物可能从动物界借用了DNA的例子。豆科植物根上有自己的“根瘤”，里面“住着”细菌，捕捉大气中的氮，提供给植物。这就是为什么农民在其轮作中通常包括三叶草或紫云英之类的豆科作物。豆科作物为其他作物提供在土壤中宝贵的氮，尤其是如果犁地时把三叶草作物翻到土壤里。根瘤的颜色是一种偏红的颜色，因为它们含有一种“血红蛋白分子”的形式，与使我们的血液变得鲜红的输送氧的分子类似。制造血红蛋白的基因在植物基因组，而不是细菌的基因组里。血红蛋白对细菌很重要，它们需要氧气，因此，血红蛋白可以作为细菌和植物之间

交易的一部分：细菌提供给植物有用的氮，而植物则提供给细菌一套“房子”，并通过血红蛋白运送有用的氧气。因为我们习惯于将血红蛋白与血液关联，自然就想知道一个制造它的基因是否在某种程度上是从动物的基因组“借用”的（或通过细菌传递的）。事实上，这是一个非常值得“借用”的主意。关于这个有吸引力的想法（终极输血假说），不幸的是——分子生物学的证据已经表明，血红蛋白是植物基因组古老的居民。它们不是借来的。它们从远古时代就已经存在在那里了。

甲壳纲动物

我在本章开头提到的脊椎动物的骨骼，是一个“以不变的模式连着多变的细节”的可爱例子。几乎任何其他主要的动物类别，都呈现了同样的情况。我将讲述的就是另一个我最喜欢的例子：甲壳纲十足目动物，这组动物包括龙虾、对虾、螃蟹和寄居蟹等（顺便提一下，寄居蟹不是螃蟹）。所有甲壳动物的身体构造都是一样的。不同于我们脊椎动物（骨骼由硬骨组成，包在柔软的身体里），甲壳动物拥有由硬管组成的“外骨骼”，里面才是其需要保留和保护的少量柔软组织。硬管以某种和我们的骨骼连接相同的方式，彼此连接并铰接在一起。想想看，例如螃蟹或龙虾，每一只足节都有精妙的“合页”结构，其螯只上还有更强健的“合页”结构。一只大龙虾拥有的提供动力进行“捏抓”的肌肉位于构成螯的爪管内，相当于人手通过敷设在中指和大拇指的肌肉，用骨头捏起某物。

甲壳动物不同于海胆或水母，而是像脊椎动物一样，身体左右对称，其各个体节像火车一样贯穿头尾。在它们的基本蓝图中，这些体节彼此相同，但通常细节不同。每个体节都通过一个“短管”与相邻两体节坚固地连接式铰接。像脊椎动物一样，当你从其身体的前方观察到后方时会发现，甲壳类动物的器官和器官系统也以重复的方式出现。例如，贯穿其躯干全长，位于腹部的主神经干（不像脊椎动物的脊椎神经一样都在背部），其每个体节上都有一对神经节（某种微型大脑[注]），从中生发出该体节所需的神经。大多数体节两侧各有一个附肢，每个附肢仍是由一系列通过“合页”铰接起来的“管”组成。甲壳动物的附肢末端通常分为双支，在许多情况下，你可以称之为“爪”。它们的头部也是体节化的，但与脊椎动物头部一样，其分节

模式比身体其他部位更隐蔽。有5对附肢潜藏在头部，尽管称它们为“附肢”可能听起来有点儿怪，因为它们已被修改成触角或颚结构的组分。因此，它们通常被称为“附属结构”而不是“附肢”。几乎不变的5个头部的附属结构，从前往后，包括第一触角（或小触角）、第二触角（往往只有它被称为“触角”）、下唇、第一颚片（或第一小颚）和第二颚片。小触角和触角大多用来感知物体。下唇和颚片与处理食物的咀嚼、碾磨等功能有关。当我们继续沿着身体观察，可以发现体节的附属物或附肢是相当多变的，中间的附肢往往由步足组成，而那些从最后面的体节生出的附肢往往被安排于其他用途，如游泳。

龙虾或大虾，在共有的5个头节附属结构后，第一体节的附属结构是一对螯。接下来是4对步足。生有螯和步足的诸体节结合在一起叫作“头脑部”。身体的其余部分被称为“腹部”。腹部的分节，至少直到尾尖都是“游泳足”，上面用来辅助游泳的羽状附属结构，对一些微小而优雅的虾类来说相当重要。螃蟹的头部和胸部都合并成一个大单位，前10对所有附肢都连接其上。腹部又折回来藏在头部或胸部下方，使你不能从上面看到它。但如果你把蟹翻过来，就可以清楚地看到腹部的分节结构。图66就是一个典型的雄蟹窄腹结构。雌性的腹部更宽，类似围裙，它确实被人们称为“围裙”。寄居蟹则与众不同些，它的腹部是不对称的（以便于进入软体动物的空壳，那是它的“房子”）、柔软、无外骨骼“装甲”（因为软体动物的外壳为其提供了保护）。

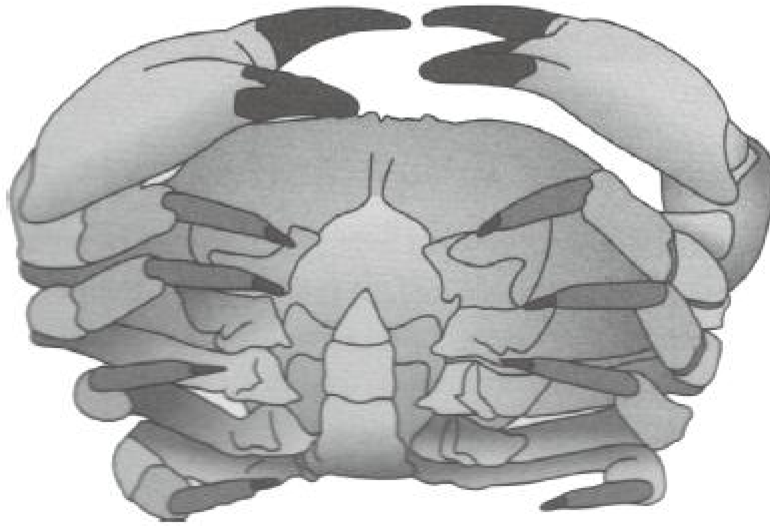


图66 雄蟹狭窄、回折的腹部

甲壳动物的身体细节颇有修改，但同时其整个身体构造本身却一点儿都没有改变，想要了解一些具体的奇妙修改，就请看一看（图67）由19世纪著名的动物学家恩斯特·海克尔（Ernst Haeckel）绘制的图集吧！他或许是达尔文在德国最忠实的“信徒”（这种忠心并不是双向的，但即使是达尔文，也一定会钦佩海克尔的绘图技术）。正如我们曾仔细观察脊椎动物的骨骼一样，请看一看这些虾蟹身体的每一个部分，你可以在其他虾蟹身体上找到与其正好对应的部位，屡试不爽。外骨骼的每一个点都连到了相同的结构（诸位点），但这些位点本身的形状有很大的不同。再一次地，“骨架”是不变的，但它的组成部分是极其多变的。而明显的，或者我想说唯一合理的解释是——所有这些甲壳动物都从同一个祖先那里继承了其骨架构造。后裔们把各个组分塑造得形状丰富多样，但完全保留了从祖先继承的方案本身。

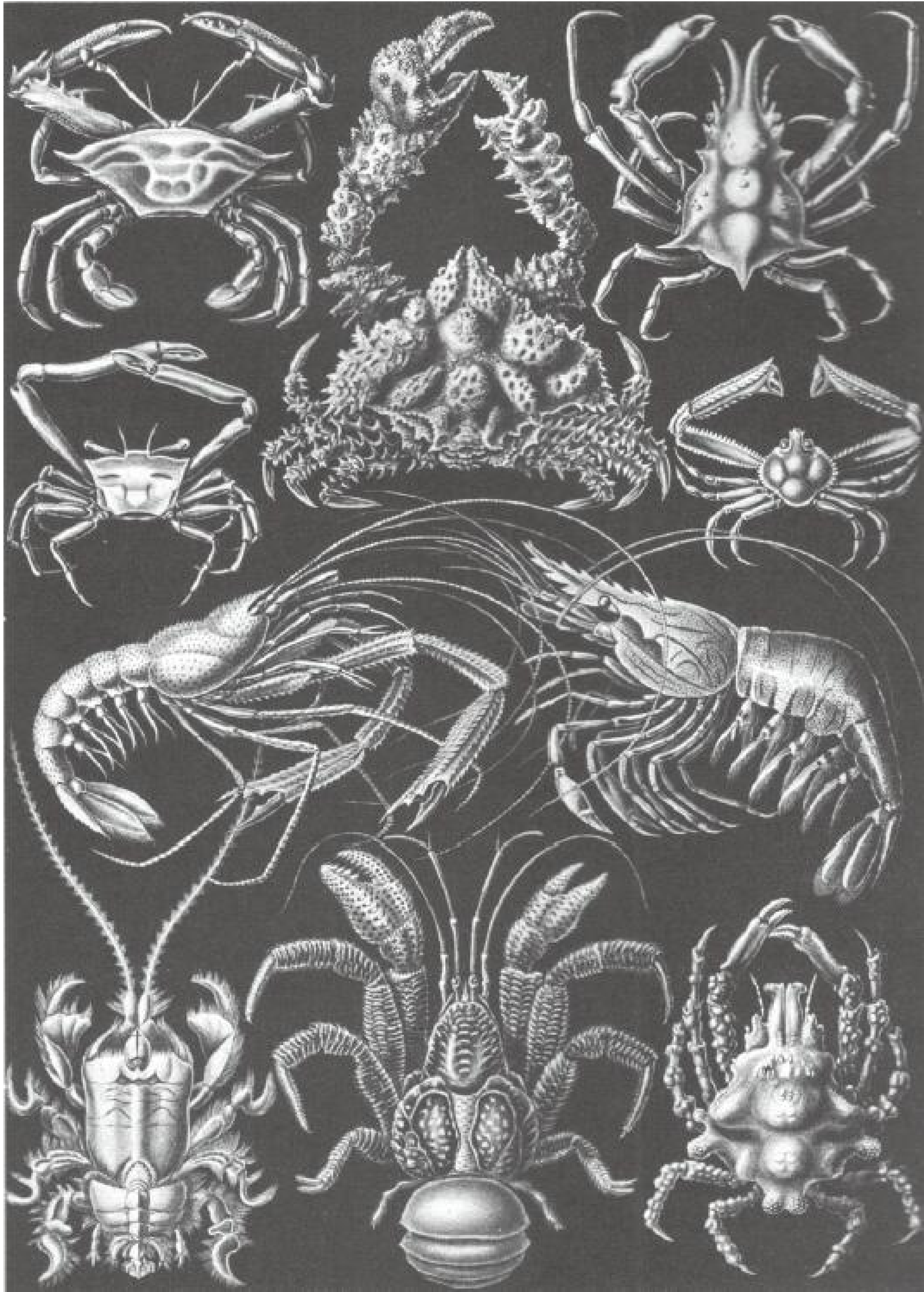


图67 海克尔绘制的甲壳动物 恩斯特·海克尔是德国杰出的动物学家和绘制动物形态的优秀艺术家

1. 这是一个鲜为人知的事实：有些恐龙在骨盆处有巨大的神经节，非常大（至少和头部的大脑相比），几乎应被冠以“第二大脑”的称号。这为美国漫画作家伯特·莱斯顿·泰勒（Bert Leston Taylor，1866—1921）创作下列诙谐诗句提供了灵感：

看哪！强大的恐龙，
著名的史前传说，
不仅因为它的能力和力量
而且因为它智力的长度。
你观察这些残骸，就会看到
这种生物有两组大脑——
一个在它的头部（通常部位），
另一个在它的脊髓底部，
因此它可以进行“本能的”推论，
也可以进行“后天的”演绎。
任何一个小问题都不能困扰它，
它使它的身体两端都是头，也都是尾。
它是如此的聪明，聪明又严肃，
每个思想都填满了一个脊柱。
如果一个大脑处于强大的压力，
它就沿着脊柱释放一些思绪。
如果有什么从它前端的头脑滑走，
后面的头脑就会前来解救。
而如果它发现犯了错，
它还有随后补救的计策。
由于在开口之前，它已思考了两遍，
所以它从未后悔过。
因此它不可能为权衡每一个问题的利弊，
思考到血充脑壳。
哦，凝望这个野兽楷模，
至少已在一千万年前隐没。

达西·汤普森会用电脑做些什么？

1917年，伟大的苏格兰动物学家达西·汤普森（D’Arcy Thompson）写了一本书，名为《生长与形态》（*On Growth and Form*），在最后一章里，他介绍了自己著名的“转换法”（method of transformations）㊟。他在坐标纸上绘制动物形态，然后用特定的数学方法使坐标纸变形，演示这个原初动物形态如何变成了与之有亲缘关系的另一个动物形态。你可以将原始的坐标纸想象成一块胶皮，你在上面画了你的第一只动物。然后，转换后的坐标纸就相当于同一块胶皮，被以某些数学上定义的方式拉长或拉宽致变形。例如，他选取了6种蟹，并在普通的坐标纸上画下其中之一——*Geryon*（怪蟹）的形态（未变形的胶皮块）。然后，他使他的数学“胶皮块”分别以5种不同的方式扭曲变形，以达到其他5种螃蟹形态的近似表征（见图68）。其数学细节非常有趣，但并不重要。你可以清楚看到的是，它用不了多少变化，就转换成了另一种蟹。达西·汤普森本人对进化的过程并不是很感兴趣，但我们很容易想象基因将不得不做出何种突变，以带来这样的变化。这并不意味着我们应该认为*Geryon*（或这6种螃蟹中任一种）是其他蟹种的祖先。它们都不是，无论如何这都不是重点。重点是无论那个“蟹祖宗”看起来像什么，这种“转换”都可以将这6种蟹中的任何一种（或假定的祖先）变成其他任何一种。

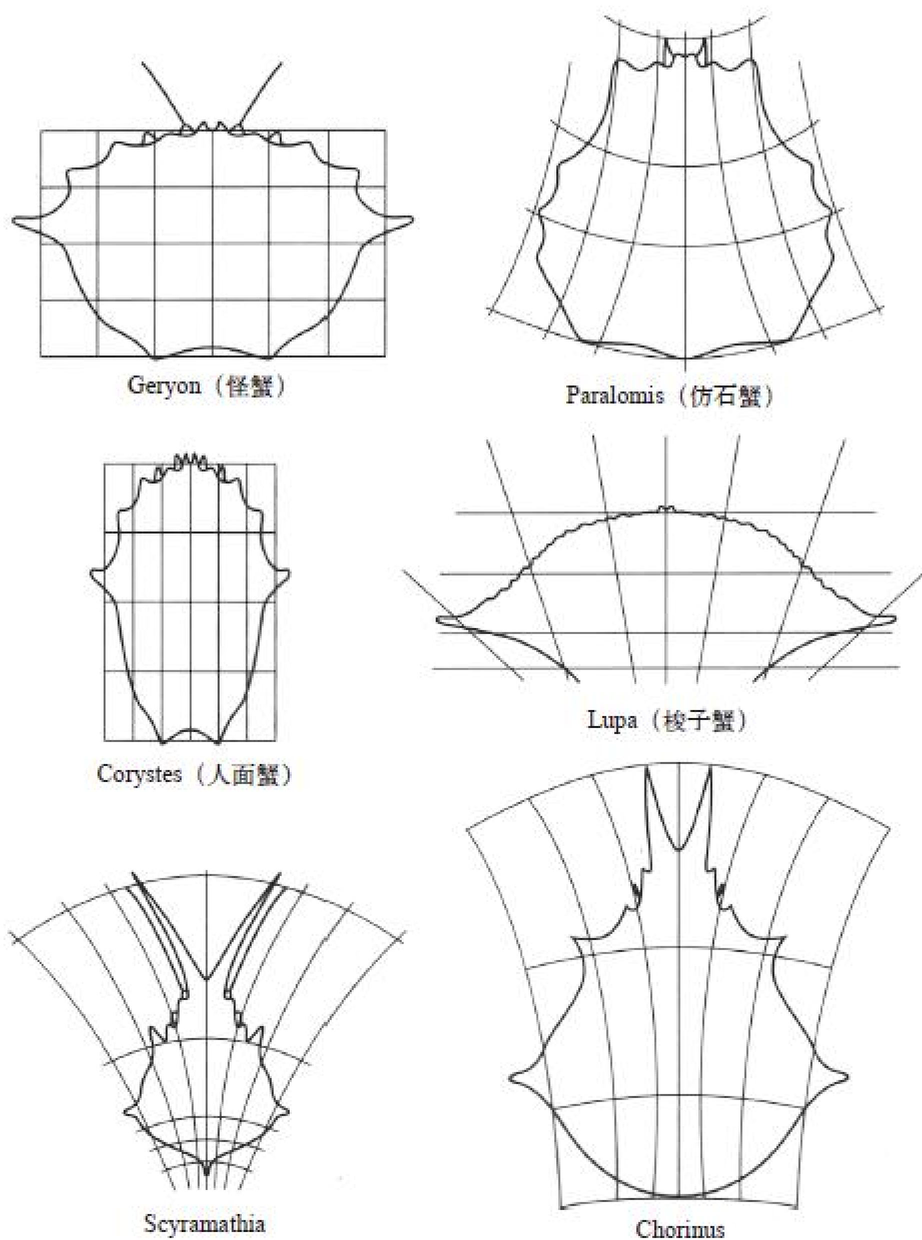


图68 达西·汤普森的“蟹型转换”图

进化，从来就不会把一个成熟个体的形态“摆弄”成另一个形态。记住，每一个成体，都是从一个胚胎发育来的。选定的突变，将通过改变某部位相对于身体其他部位的生长率，在发育中的胚胎里引发变化。我们在第七章，把人类头骨的演化解读为受胚胎发育中的基因的控制，一些部位相对于其他部位的生长率的一系列变化。因此，我们应该想到，如果我们在一块“数学胶皮”上绘制一个人类的头

骨，通过某种有条理的数学方式扭曲胶皮，它应该可能形成与一个近缘种（如黑猩猩）的头骨大致相似的形态，或者——也许通过一种更大的变形而形成一个更远的“表亲”（如狒狒）头骨的大致形态（见图69）。这正是达西·汤普森所要展示的。再一次请注意，“先画人类头骨再转换为黑猩猩和狒狒的头骨”是一个任意的决定。我们同样可以先画黑猩猩的头骨，然后作出必要的扭曲，使其转换为人类和狒狒的头骨。或者，更有趣的是：对于一本关于进化的书（达西的书不算）来说，作者可以首先在未扭曲变形的胶皮上画出南方古猿的头骨，并计算出如何将它转换，变成一个现代人的头骨。这个转换过程肯定会与上面的过程一样可行，它将会以更直接的方式展示进化的含义。



图69 达西·汤普森的“头骨转换”图

在本章的开头，我以蝙蝠的翼和人类的手臂为例，介绍了“同源”的概念。我说过，骨架是相同的，而骨骼是不同的（我沉迷于玩弄文字游戏了）。达西·汤普森的转换为我们提供了一种方法，使这一理念更加精确。在这个提法中，如果可能将两个器官（例如蝙蝠的翼手和人类的手）中的一个画在橡胶上，然后扭曲变形成另一个，那么这两个器官就是同源的。这被数学家形容为“同胚的”（homeomorphic）注。

在前达尔文时代，动物学家们承认同源性，并且可以说，前进化论者会将蝙蝠的翼和人的手描述为“同源产物”。如果通晓足够的数学知识的话，他们早就乐于使用“同胚”一词了。在后达尔文时代，当“蝙蝠和人类有一个共同的祖先”变成被普遍接受的事实时，动物学家开始用进化的术语定义“同源性”。同源相似性，是从共祖继承来的。“同功的”（analogous）一词被用来形容“相似之处”是由于同样的功能，而不是拥有共祖。例如，蝙蝠的翼和昆虫的翅会被描述为“同功”，与蝙蝠的翼和人类的手臂“同源”相对。如果我们要使用“同源性”作为证据论述进化的事实，我们就不能用“进化”来定义它。为了这个目的，应该回归到进化论之前时代对“同源性”的定义。蝙蝠的翼和人类的手臂是同胚关系：你可以通过将其中一个的胶皮模型扭曲变化，使之成为另一个。你不能通过这种方式将昆虫的翅转换为蝙蝠的翼，因为它们没有相应的部位。同胚现象（并不是进化术语的定义）的广泛存在，可以用来作为进化的证据。很容易看到：进化是如何只需通过改变胚胎各部位发育的相对速度，就可以发生作用，使某任意脊椎动物的手臂转换成任何一个其他脊椎动物的手臂。

1960年代，自从我开始念研究生，熟悉电脑之后，我一直想知道达西·汤普森可能会用电脑做什么。1980年代，当价廉物美、带有显示器的电脑（而非只是带打印机）普遍出现后，这个问题变得紧迫起来。在延展的胶皮表面上绘图，并用数学方法扭曲——这件事简直就是为计算机而准备的！我建议牛津大学出资聘请一位程序员，在电脑屏幕上实现达西·汤普森转换，并做成界面友好、易用的形式。我们拿到了钱，雇用了一流的程序员和生物学家威尔·阿特金森（Will Atkinson），他后来成了我的朋友和我自己的编程项目的顾问。一旦他解决了编程指令丰富的“胶皮数学扭曲模式”的难题，就很容易将这个“数学魔术”整合到生物形态模式化的人工选择方案之中。该方案类似于我自己的“生物形态”程序（在第二章有所描述）。正如我的程序里，“参与者”面对着一个充满动物造型的屏幕，并被要求选择其中之一为其“育种”，一代又一代。再一次，这里会有持续传递

了一代又一代的“基因”，而且这些基因会影响这种“动物”的形态。但在这里，基因影响动物形态的方式是通过控制已经画有动物形态的“胶皮”的扭曲程度完成的。因此，从理论上讲，它应该有可能始于（比如）一个绘制在未扭曲的“胶皮”上的南方古猿头骨，培育引导逐步增大脑容量和逐步缩小口鼻的生物——换句话说，逐渐类人化。在实践中做任何类似这样的事情，都被证明是非常困难的，不过，我觉得这个事实本身反而很有趣。

我再一次认为，困难的原因之一是，达西·汤普森的转换是从一个成年形态变到另一个成年形态。正如我在第八章强调的，这不是进化过程中基因工作的方式。每一只动物个体都有一个发育史。它从一个胚胎开始成长，通过身体不同部位彼此异速地生长，直到成年。进化不是一个由基因控制，从一个成年形态扭曲成另一个成年形态的过程；而是一个由基因控制的发育程序。当朱利安·赫胥黎（Julian Huxley）［托马斯·赫胥黎（Thomas Huxley）的孙子、奥尔德斯（Aldous）的兄弟］认识到这一点时，正是达西·汤普森的书第一版出版后不久，朱利安修改了这一“转换法”，用来研究早期胚胎转变为晚期胚胎或成年形态的途径。关于达西·汤普森的转换方法，我在这里就想说这么多。在最后一章，我将回到这一主题，做一个相关回顾。

正如我在本章开头阐述的，在支持进化的真相方面，对比性证据的说服力总是远远地强于化石证据的说服力。达尔文自己在他的著作《物种源始》（1859年）中，关于“生物间彼此的类缘关系”一章的结尾，也有相似的观点：

> 最后，在我看来，本章所考虑的几种事实清楚地表明——我们世界上生存的无数种、属、科的生物，在其各自的本纲或本群的范围内，都是从共同祖先传衍下来的，并且在传衍过程中都发

生了修改。即使没有其他事实或论据的支持，我也将毫不犹豫地采纳这个观点。

1. 达西·汤普森肯定是有史以来最博学的科学家之一。不仅仅因为他写得一手有贵族气质的漂亮英文，也不仅仅因为他作为苏格兰最古老大学里的自然历史学教授，是一位知名的数学家和古典学者，还因为他的书附带了他认为无需翻译的各种语言的引文，包括拉丁语、希腊语、意大利语、德语、法语，甚至普罗旺斯语（最后一种他屈尊翻译成了——法文！）。时代变了多少！
2. 严格地说，如果你能将两个形状中的一个扭曲变形成另一个，且没有打破也没有任何新的添加，那么这两个形状就是同胚的。

分子比对

达尔文不知道——也不可能知道的是：除了他那时可利用的“解剖学对比”，我们现在又引入了分子遗传学，从而使对比性证据变得更具说服力。

正如所有脊椎动物的整体骨架是不变的，而单个的骨骼却各不相同；正如，所有甲壳纲动物的外骨架也是不变的，而单个的“体节”却是各式各样的；同样的，所有生物的DNA密码也都是不变的，而它们自身单个的基因却是多样化的。这是一个非常令人震惊的事实，它比其他任何证据更为清楚地表明：全部生物都来自同一个祖先。在所有动物、植物、真菌、细菌、古生菌和病毒中，不仅仅是遗传密码本身，而且使生命运转的整个基因/蛋白系统（这是我们在第八章已经探讨过的）都是一样的。不是密码本身不同，而是密码所编写的内容不同。当我们对比着查看密码所编写的内容——所有不同生物的实际基因序列，我们就会发现同一种分层次的相似性谱系树。我们对比脊椎动物的骨架、甲壳纲动物的外骨架，甚至整个生物界中所有结构相似性的模式之后，曾发现过相同的谱系树——但基因序列相似性的谱系树展现得更为全面，并且更具说服力。

如果我们想要解答这一问题：任意一对物种之间具有怎样密切的亲缘？例如，刺猬和猴子之间具有怎样密切的亲缘？理想的方法是：查看两个物种中每一个基因的全部“分子文本”，逐字逐句地进行比对——就好像一个《圣经》学者对两卷《以赛亚书》或其残卷进行对照。但这一过程既费时又昂贵。“人类基因组计划”（The Human Genome Project）历时10年左右，意味着许许多多人每人都干100年的工作量。即便如今能在短时间内就取得相同的成果，但如果开展“刺

猬基因组计划”这样的工作仍将是一项庞大而昂贵的工程。人类基因组的完整破译就像阿波罗登月计划，还有大型强子对撞机（当我写这本书时，它刚刚在日内瓦启动——当我参观时，这一巨大规模的国际心血结晶令我感动得落泪）那样，是那些令我身为人类感到自豪的成就之一。我很欣喜，“黑猩猩基因组计划”已圆满完成，这意味着其他各个物种的基因组也即将被破译。如果按照目前的进度［见下文的“霍奇金定律”（Hodgkin’s Law）］，不久以后，我们就能对近缘物种中每一对我们想要测定的基因组进行测序——这在经济上将是可行的。目前，我们不得不主要依靠对基因组特定部分的抽样，这也是一种十分行之有效的方法。

我们可以通过挑选出几个选定的基因（或蛋白质，其序列直接由基因翻译而来）而进行抽样，并对它们进行跨物种的比较。我将过一会儿再回到这个话题。然而，还可以通过别的方法来进行一种粗略“自动抽样”，并且这类技术存在已久。有一个早期方法，它利用了兔子的免疫系统，其效果出奇地好（实际上你可以利用任何你喜欢的动物，但是利用兔子能够出色地完成这一工作）。作为机体抵抗病原体的天然防御机制的一部分，兔子的免疫系统能够产生抗体，来抵抗任何侵入血液的外源蛋白。正如通过观察我血液中的抗体，你可能会说我曾得过百日咳，同样你也可以通过观察兔子目前的免疫反应，说出它过去曾经“接触”过什么。现存于兔子体内的所有抗体（包括人工注射的蛋白质），构成了一个由兔子肉体承载的“自然冲击史”。也就是说，假如你将一个黑猩猩的蛋白质注射到兔子体内，兔子由此产生的抗体将随后攻击再次注入的同样的蛋白质——如果它再次被注入的话。但是，假设你第二次注射的等效蛋白质不是来自黑猩猩，而是来自大猩猩，那么将会怎么样呢？对于此前“接触”过黑猩猩蛋白质的兔子，它预备的相应抗体，可以部分地对抗大猩猩版本的蛋白质，但是该反应会减弱。这些抗体也会对抗袋鼠版本的蛋白，但考虑到袋鼠和黑猩猩的亲缘关系要比大猩猩和黑猩猩的亲缘关系远得多，所以该反应会更弱。兔子对后续注射蛋白的免疫反应强度，可用来估

量该蛋白与兔子首次所“接触”蛋白的相似度。1960年代，加州大学伯克利分校的文森特·萨里奇（Vincent Sarich）和艾伦·威尔逊（Allan Wilson）就是通过这种方法，利用兔子证明了人类和黑猩猩的亲缘关系是最近的（人们以前却并不这么认为）。

还有另外一些方法利用了基因本身，直接比对物种间的基因，而不是比对它们所编码的蛋白质。在这些最老旧而最有效的方法中，有一种方法叫作“DNA杂交”。该方法通常对应着我们常见的那一类声明：“人类和黑猩猩共有98％的基因。”顺便提一下，对于这些百分数的确切含义是什么，人们会有一些困惑。98％的什么是相同的？确切的百分数取决于我们计数时所用的单位大小。对此，一个简单的类比可以加以说明（这个类比的方式十分有趣），因为类比不但和事实有相似之处，而且还具有启迪作用。假设，我们有同一本书的两个版本，要对它们进行比较。假设该书是《但以理书》（*Daniel*），我们要将其标准版与一个古卷版本相比较——这个古卷刚被人们在一个可以远眺死海的洞穴中发现。这两个版本的章节有多大的比例是相同的？很可能是零——因为只要在整章中任何一处存在一个差异，我们就可以说，二者就是不同的。它们的句子有多大的比例是相同的？这么问的话，比例将会大很多。词相同的百分比将更大，因为词与句子相比，它的字母更少，打破一致性的机会更小。但如果单词之间有任何一个字母不同，仍然会破坏单词的相同性。因此，如果你将两行文字并排放置，并对它们的字母逐个地进行比较，相同字母的比例将远远大于相同单词的比例。所以，诸如“相同度为98％”这类判定，它并不具有任何意义，除非我们详细指明比较的单位大小。我们正在计算的是“章节”、“单词”、“字母”，还是其他什么东西？当我们比较两个物种的DNA时，亦是如此。如果你比较的是整个染色体，那么相似度会是零，因为只要染色体的某处存在一个微小差别，即可把它们定义为不同的染色体。

经常被引用的“人和黑猩猩共有98％的遗传物质”，这一数字实际上所指的，既不是染色体数目，也不是整体的基因的数目，而是人类和黑猩猩的基因中DNA“字母”（碱基对）彼此相匹配的数目。但这里有一个陷阱。如果你天真地进行逐行比对，与写错一个字母不同，缺少一个字母（或增加一个字母），这会导致后续的字母全部错配，因为错一步，就会导致剩下的字母全部错列，直到在别处再出现一个相反的错误，才能把它们的“步调”调回。这种方式所造成的“差异夸大化”显然是不公平的。一位学者的眼睛，在阅览两个版本的《但以理书》的同时，会自动地比较二者的差异，这是一个很难量化的过程。而我们怎样才能对DNA做到这一点呢？在这里，我们将撇开关于书籍和卷轴的类比，直接面对实物，恰好这一实物（DNA）与类比的事物相比，更易被人们解读！

如果你逐渐加热DNA，直到某个温度——大约是85℃，到达这一温度时，双螺旋的两条单链之间的化学键断裂，两条单螺旋分开。你可以将85℃（也可以是别的温度）看作一个“熔点”。如果你再让DNA冷却，每条单螺旋都会按照双螺旋结构所通用的碱基配对原则，无论它在哪儿找到一个可与之配对的另一条螺旋或单螺旋片段，都会再次自发地与之结合。你或许会认为，一个片段总会与刚刚分离的对应片段配对，当然，二者可以完美地相互匹配。的确可能如此，但该过程通常不会像上述那样整齐地进行。DNA片段会找到能够与之配对的其他片段，而它们通常不会恰好是最初的对应片段。而且事实上，如果你添加了从其他物种分离出来的DNA片段，单链片段很有可能与错误物种的单链片段结合，并且它们会按照与正确物种的单链片段结合的同一原则，来实现该过程。为什么会是这样呢？这是“沃森-克里克（Watson-Crick）分子生物学革命”所得出的非凡结论——DNA就是DNA。它并不“关心”自己是人类的DNA，黑猩猩的DNA，还是苹果的DNA。无论DNA片段在哪儿找到其互补片段，这些片段都会很乐意地进行相互配对。然而，它们之间的结合强度并不都是相等的。单链DNA会和与其匹配的单链结合得更紧密，而与匹配度较低的单链结合得较松

弛，这是因为（在后者中）更多的DNA“字母”（沃森和克里克所说的“碱基”）发现它们面对着无法和自己配对的碱基。好比一条缺了一些齿的拉链——两边的结合强度被削弱了。

当来自不同物种的片段找到其互补片段并结合之后，我们应如何测定其结合强度？通过一个听起来简单得近乎可笑的方法——测定化学键的“熔点”。你还记得我说过DNA双链的熔点大约为85℃吧。这是正常且正确配对的DNA双链的真实熔点，它是人类DNA的一条单链与它的互补链“熔化分离”时所需的温度。但是，当结合较弱时，比如一条人类的DNA单链与一条黑猩猩的DNA单链结合在一起的双链，那么一个相对低些的温度就足以打破结合，并且，当人类的DNA和来自亲缘关系更远的物种的DNA结合时，比如和鱼或蟾蜍的DNA，更低的温度就能使它们分开。“一条单链与同一物种的另一条单链结合”和“一条单链与另一物种的一条单链结合”，根据二者的熔点差异，我们可以对两个物种之间的遗传距离进行估量。一般来说，“熔点”每降低1℃大约相当于DNA“字母”的匹配度下降1％（或拉链的缺齿数量增加1％）。

对于这个方法，其中有一些纠结，我没有深入探讨，此外，也有一些棘手的难题，但已有了巧妙的解决方法。例如，如果你把人类与黑猩猩的DNA混在一起，许多人类DNA片段将与人类的其他DNA片段结合，并且黑猩猩的DNA也会与自己同种的DNA相结合。那么你怎样才能从“同种”DNA中分离出你真正想要测定其熔点的“杂交”DNA呢？通过一个高明的“把戏”，就可以解决这一问题——利用以前提过的放射性标记。但这些细节将使我们偏离正在讨论的内容。这里的要点是，“DNA杂交”是一种技术，科学家利用这一技术，会得到像“人类和黑猩猩的基因相似度为98%”这样的数据，而当你使用该技术对亲缘关系较远的一对动物进行测量时，它会给出料想中较低的百分数。

测量一对来自不同物种的匹配基因的相似度，其最新方法是最直接的也是最昂贵的：通过在“人类基因组计划”中用到的相同方法，来实际读取基因本身的字母顺序。虽然用这个方法来对整个基因组进行比较依旧十分昂贵，但通过比较一个基因样本，你可以得到一个很好的近似值——现在这一方法已经得到了日益广泛的使用。

无论我们利用什么技术测得两个物种的相似度（无论是兔抗体，或是“熔点”，还是直接测序），接下来的一步几乎都是一样的。我们把测得的代表着一对物种相似度的数字填写在一个表格里。选择一系列物种，在表格的行端和列端都写下这些物种的名字。然后将相似度的百分数填入相应的空格中。这个表格将呈现为三角形（一个正方形的一半），因为，举个例子，人与狗、狗与人的相似度是一样的。所以，如果你填写了整个方形表格中所有的空格，那么对角线两侧将互为镜像。

现在，我们应该期望得到什么样的结果呢？通过演化模型，我们可以预测，你会发现自己在人类和黑猩猩所对应的空格中填入了一个高分；而在人类和狗所对应的空格中填入的分数较低。人/狗的空格中的分数，理论上应该和黑猩猩/狗的空格中的分数相同，因为人类和黑猩猩的亲缘关系，人类和狗的亲缘关系，二者应该是完全相同的。猴/狗的空格和狐猴/狗的空格中所填的分数也应该是相同的。这是因为人类、黑猩猩、猴和狐猴通过它们的共祖（早期灵长类动物，可能看起来有点像狐猴）与狗相联系。在人类/猫、黑猩猩/猫、猴子/猫和狐猴/猫的空格中，分数也是相同的，因为猫、狗都通过所有食肉动物的共祖而与所有灵长类产生联系。那么也就是说，任一哺乳动物与鱿鱼所对应的空格中的分数都应该相当低——理想上它们应该是相同的低分，并且，这应该和你选择哪种哺乳动物无关，因为所有哺乳动物都和鱿鱼有着同样遥远的亲缘关系。

这些结果都是强大的理论上的预期，而在实际情况中，并无其他必然的理由一定要如此——如果结果违背了预期，那将是反对进化的证据。在统计学的误差范围内，实际发生的一切，都恰好符合我们对于假设（“进化已然发生了”）的期待。换一种说法，如果你将一对对物种之间的“遗传距离”置于一棵谱系树的分支，那么一切数据都能令人满意地叠加在树上。当然，叠加得并不十分完美。在生物学中，预估的数值实现之后往往只是一个近似。

根据进化假设，DNA（或蛋白质）的对比证据可以用来确定动物之间彼此亲缘关系的远近。如何将这一点转化为有力的进化证据呢？你可以依次为每一个基因构造一棵关于基因相似度的谱系树。进而会产生重要的结果，即每个基因都呈现大致相同的谱系树。再次强调，如果你构建的是一棵符合事实的谱系树，那么这就应该是你期望的结果。然而，如果有一个设计师调查了整个动物界，他无论在哪个角落发现了最好的蛋白质，都会进行挑选或“借用”给别的生物，那么每个基因最终将不会呈现大致相同的谱系树。

沿着这些路线进行的最早的大型研究，是由戴维·潘尼（David Penny）教授领导的一组新西兰遗传学家开展的。潘尼团队选取了5个基因，虽然这5个基因在所有哺乳动物中并不都等同，但已足够相似，足以被赋予相同的名称。个中细节并不重要，但记录这5个基因的名字是很重要的，它们分别是血红蛋白A、血红蛋白B（血红蛋白使血本身呈现红色），血纤维蛋白肽A、血纤维蛋白肽B（血纤维蛋白肽被用于凝血）和细胞色素C（在细胞生物化学方面具有重要作用）。他们选择了11种哺乳动物进行比较：猕猴、羊、马、袋鼠、大鼠、兔、狗、猪、人、奶牛和黑猩猩。

潘尼及其同事们以统计学思维来考虑问题。他们想计算出：如果进化不是真实存在的，那么纯粹依靠机会，两个分子产生相同谱系树的概率会是多少？因此，他们试图设想出11种后裔可能产生的所有谱

系树。这是一个大得惊人的数字。即使你将自己的谱系树限定为“二元树”（即，树上只有二分叉的分支——没有三分叉或更多分叉的分支），可能的谱系树的总数目也超过了3400万。科学家们“会”耐心地查看3400万棵谱系树中的每一棵，并将其和另外的33999999棵谱系树进行比对吗？显然，他们绝不会这么做！这会在计算上耗费大量的时间。不过，他们设计了一个巧妙的统计近似，这一条捷径等价于庞大的运算。

下面是这个近似法的应用方式。他们取出了5个基因中的第一个基因，叫作血红蛋白A（在所有情况下，我都以蛋白质的名称来代表编码这个蛋白质的基因）。在所有的上百万棵谱系树中，他们希望找出——对于血红蛋白A来说，哪一棵树是最“简约”的。“简约”在这里的意思是：“需要设想最少的进化性变化。”例如，对于所有那些假设“人类和袋鼠的亲缘关系最近，而黑猩猩和人类的亲缘关系相对较远”的成千上万棵谱系树，它们被证实是非常不简约的，它们需要被设定大量的进化改变，才能够产生“袋鼠和人类拥有近期共祖”的结果。血红蛋白A的评语将会是下面的这几行字：

> 这是一棵非常不简约的谱系树。虽然根据这棵树我们和袋鼠近缘，但是我必须做出大量突变，才能够弭平人类和袋鼠之间的巨大差异，令它们近缘；我还得在其他方面制造大量的突变，以确保尽管在这棵特别的谱系树上，人类和黑猩猩关系非常远，最终却不知怎地拥有了如此相似的血红蛋白A。有鉴于此，我投票反对这棵谱系树。

对于3400万棵谱系树中的每一棵树，血红蛋白A都给出了一篇这种类型的评语，其中有一些突出的赞许性评语。最终它选出了几十棵杰出的谱系树。对每一棵杰出的谱系树，血红蛋白A将会这么说：

> 这棵树把人类和黑猩猩安置为近亲，并且也把牛羊安置为近亲，而把袋鼠单独放在一个分支。它被证明是一棵非常好的谱系树，因为它使我几乎不用做出任何突变就能阐明进化性改变。这是一棵非常简约的谱系树。它得到了血红蛋白A的一票！

当然，如果血红蛋白A和所有其他的基因，都认可同一棵单一的最大简约树，那就太好了，但这样要求就太过分了。在3400万棵谱系树中，我们应该预料到有几棵略为不同的谱系树不相上下地竞争成为血红蛋白A的首选谱系树。

那么现在，血红蛋白B会怎么选择呢？还有细胞色素C呢？5种蛋白质中的每一种蛋白质，都具有自己的单独投票的资格，它们会从3400万棵谱系树中，找到自己的首选谱系树（也就是最简约的那一棵）。关于哪一棵是最简树，细胞色素C完全有可能会给出一个截然不同的投票。结果可能是，人类的细胞色素C真的和袋鼠的非常相似，而与黑猩猩的相差甚远。血红蛋白A识别出绵羊和奶牛具有亲近的亲缘关系，然而细胞色素C不但不对此表示赞许，反而它可能会发现自己几乎不需要做任何突变，就能把羊和猴子放在非常接近的位置上，并且也能将奶牛和兔放在非常接近的位置上——按照创世假说，这种情况当然有可能发生。但是实际上，潘尼及其同事们却发现，所有5种蛋白质都具有令人震惊的高度一致性（他们还运用了更多的巧妙的统计学，以此说明这样的一致性不太可能是偶然所致）。所有5种蛋白质都“投票”给了3400万棵可能的谱系树中几乎相同的子集。当然根据假设，这正是我们所期望的——真的有且只有一棵符合事实的谱系树联系了所有的11种动物，它就是“家族谱系树”：一棵进化关系的谱系树。更重要的是，5个分子一致选出的谱系树，它与动物学家经由解剖学和古生物学（非分子水平的）所得出的结果是一致的。

潘尼教授的研究结果发表于1982年，距今有相当长的一段时间了。其间的这些年，关于种类纷繁的动植物基因的确切序列的细节性

证据日益增多。现在已经远远不仅仅是潘尼及其同事所研究的11个物种和5种分子在最简约树方面达成了一致。他们的研究成果是一个很好的例证——他们的统计学证据“势不可当”。现在已获得的全部基因序列的数据使得这一事实是毋庸置疑的。来自基因之间的对比证据，果断而迅速地聚拢到一棵伟大的生命谱系树之上，这甚至比化石证据（它也具有高度的说服力）更令人信服。图70就是潘尼团队研究的、由11个物种构成的一棵谱系树，它是许多不同的现代哺乳动物基因组的一致表决结果。所有基因组中不同基因的一致认同，给了我们信心，这不仅是对谱系树自身历史准确性的一致认同，也是对已然发生的进化事实的认同。

如果，分子遗传学技术以目前的指数型速率持续不断地进步，那么到2050年，获取一个动物基因组的完整序列将会变得快捷且成本低廉，几乎不会比量取该动物的体温或血压难到哪儿去。为什么我会说，基因技术呈指数型进步呢？难道我们能测出来这一点吗？在计算机技术中有一个与之平行的定律，称为摩尔定律（Moore’s Law）。这是以英特尔公司的创始人之一——戈登·摩尔（Gordon Moore）的名字命名的，该定律可以通过各种方式表述，因为测量电脑性能的各种方式是彼此相关的。这个定律的一个版本可表述为：能够集成到一个限定尺寸的集成电路中元件的数量，每18~24个月左右增加一倍。这是一个经验定律，就是说，它并非源于某些理论，而当你测定数据时就会发现它是对的。迄今为止的50多年间，它一直保持着正确性，并且许多专家认为，它仍然会这样保持下去并至少再延续几十年。计算机其他性能的发展也呈现为指数型，倍增时间也类似，包括运算速度提高、内存容量变大以及单位成本的降低，这些都可以被认为是摩尔定律的翻版。指数型趋势往往会导致令人吃惊的结果，正如达尔文在他的数学家儿子乔治（George）的帮助下所证明的那样——他以大象作为一个缓慢繁殖的动物的例子，以此阐述了，若经过短短几百年不受制约的指数型生长繁殖，仅仅一对大象的后代就将覆盖整个地球。而实际上毋庸赘言，大象的种群增长并不呈指数型。它受制于食物和

空间的竞争、疾病和许多其他的因素。事实上，这就是达尔文的思想精髓，因为这就是自然选择的介入点。

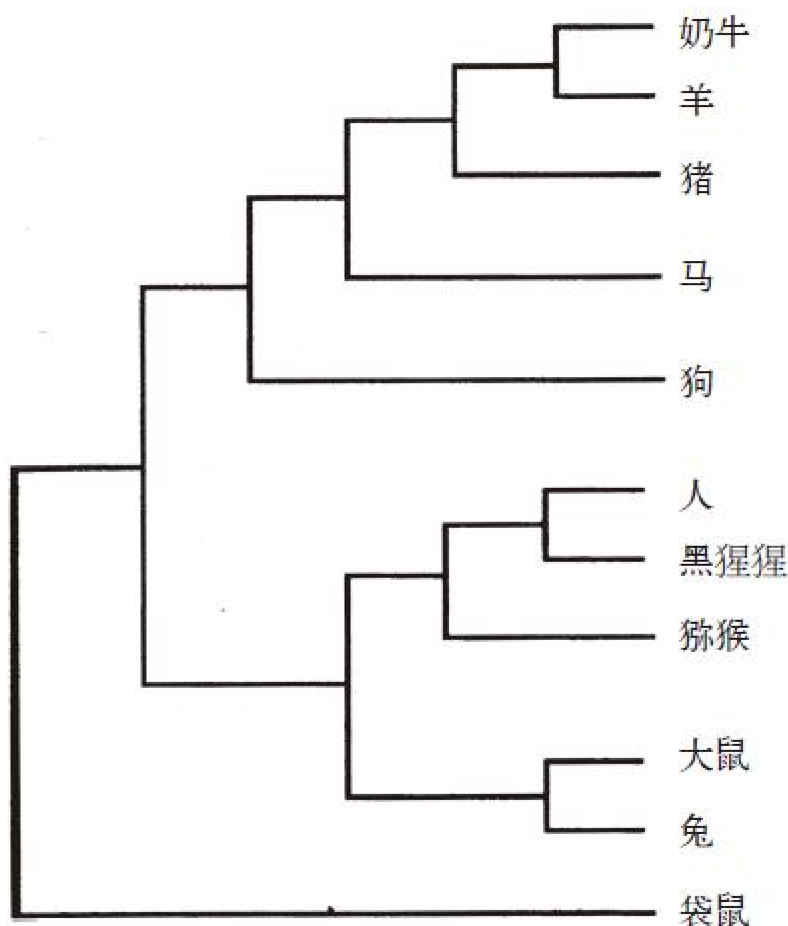


图70 潘尼教授研究的11个物种的谱系树

但至少约50年间，摩尔定律真的一直有效。虽然没有人能够非常清楚地解释——为什么在实际情况中，所测量的各种计算机性能的确是呈指数型增长的，而达尔文的大象数量的增加趋势仅在理论上是呈指数型的。我想关于遗传技术和DNA测序，可能有一个类似的有效定律。我向牛津大学遗传学教授乔纳森·霍奇金（曾经是我的一个本科生）提及这一点。令我高兴的是，原来他早已经想到这一点了，他在为他的母校准备一场演讲期间，就已经做过相应的测量了。他估算了在历史上4个时期（1965年、1975年、1995年和2000年）对某一标准长

度的DNA进行测序所需的成本。我将他的数据“反过来”说，可表述为：“花确定数额的钱能够买多少货”或“花1000英镑可以测定多少DNA序列”。我在对数坐标上标绘这些数据，之所以选择这个方式，是因为将指数趋势进行对数化标绘，总是会显示为一条直线。果然，霍奇金的4个数据很好地落在一条直线上。我将这些点拟合成一条直线（见第五章开篇关于线性回归技术的说明），然后自由地将它投射到未来（见图71）。最近，正当本书要付梓的时候，我把这一节拿给霍奇金教授看，他告诉了我他获知的最新数据：2008年完成测序的鸭嘴兽基因组（鉴于它在谱系树的战略地位，鸭嘴兽是一个不错的选择：它和我们的共祖生活在1.8亿年前，这个时间的长度近乎恐龙灭绝以来的时间长度的3倍）。我已经将表示鸭嘴兽的点用五角星绘制在图上，你可以看到，它刚好落在依据早期数据所绘出的延长线附近。

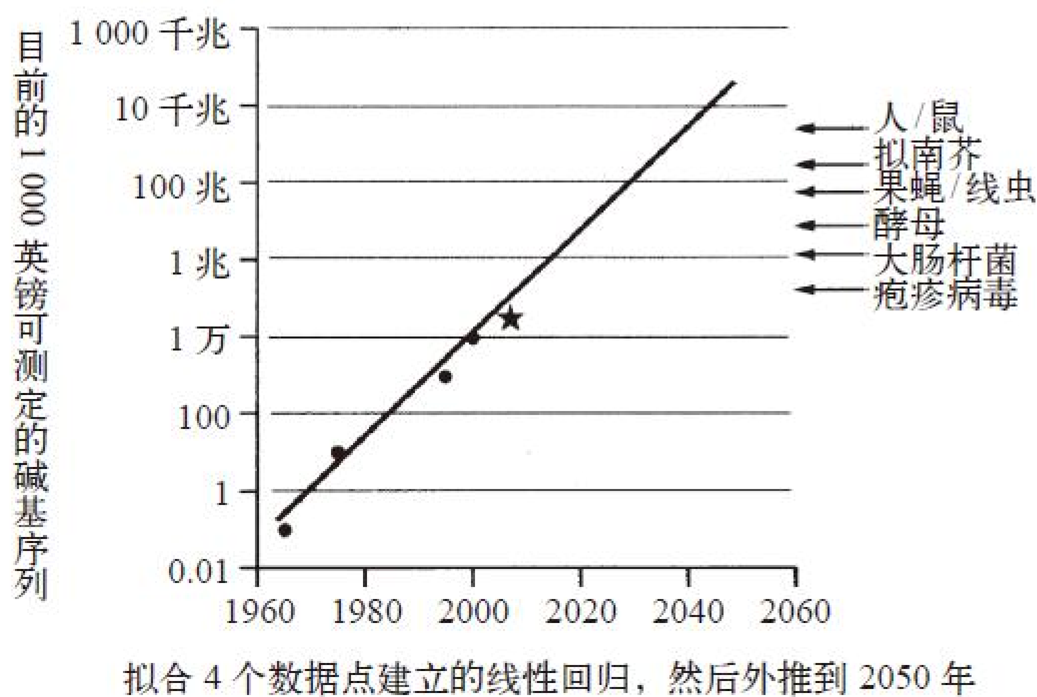


图71 霍奇金定律

我将这一直线的斜率称为霍奇金定律（未经授权），它只比摩尔定律的斜率稍稍小一点。霍奇金定律的倍增时间略大于两年，而摩尔定律的倍增时间则不到两年。DNA技术十分依赖计算机，所以霍奇金定

律至少部分地依赖于摩尔定律——这是一个很好的推测。图71右侧的箭头指示着各种生物基因组的大小。如果你顺着箭头往左看，直到与霍奇金定律的斜线相交，你可以读出一个估计值，即可能在什么时候，仅用1000英镑（今天的币值），就能测定一个相应大小的生物基因组。我们发现，若要用1000英镑测定出和酵母菌基因组大小相同的基因组，我们只需等到2020年左右即可；若要测定一个新的哺乳动物的基因组（可大略估算，所有哺乳动物的基因组测定都是同样昂贵的）预计日期会在2040年以前。这是一个振奋人心的预期：我们将便捷且廉价地从动植物界的各个角落获取DNA序列，建立一个庞大的DNA数据库。细致的DNA比对，会填补我们对于各个物种之间实际进化关系的全部知识空隙：我们会彻底了解所有生物的整个家族谱系(注)。天知道我们该如何绘制它，因为它的规模要超过任何实际尺寸的纸张。

到目前为止，在这个问题上最大规模的尝试，由戴维·希利斯（David Hillis）领导的团队完成，他是丹尼·希利斯（Danny Hillis，他研制过最早的一批超级计算机）的弟弟。“希利斯图”（见图72）通过将谱系图囊括在一个圆圈内，使谱系更简洁紧凑。你在谱系图的两端看不到任何间隙，它们几乎合在一起了；其实“细菌”和“古生菌”之间存在间隙。若想看看环形图的概貌，请看克莱尔·德阿尔贝托（Clare D’Alberto）博士文在背上的精简版。当克莱尔文身的时候，她还是墨尔本大学的研究生，她对动物学的热忱可不仅限于皮肤。她大度地允许我在这本书中翻印这张照片。她的文身包括了一个86个物种的小样本（末端分支的数量）。你能在这个环形图中看到那个间隙，同时可以想象这个“圆环”展开后的样子。沿着外圈边缘分布的少量图画，是战略性地从细菌、原生动物、植物、真菌以及4个动物门中选出的代表。脊椎动物由右侧如蔓草一样的海龙所代表，这种鱼令人惊讶，它的长相与海草相似，可以起到保护作用。希利斯环形图也是一样的，但不同的是，它有3000余种生物。它们的名字标在图72圆环的外部边缘附近，小到无法读出——虽然“智人”

注被体贴地标上了“你在这里”，以帮助我们的认知。当我告诉你，在这个巨大的环形图中，和人类亲缘关系最近的竟然是大鼠和小鼠时，你就能知道该谱系的抽样有多么稀疏。哺乳动物不得不被大幅删减，才能使它在高度上和该树的其他所有分支相协调。试想一下，尝试绘制一个具有1000万种物种（而不是这里的3000种）的类似谱系。而“1000万”还不是对现存物种种类数量最大胆的估计值。从希利斯的网站（www.zo.utexas.edu/faculty/antisense/DownloadfilesToL.html.）下载“希利斯谱系”是很值得的，之后可以将它打印成一幅壁挂；网站建议用一张至少有54英寸宽的纸来打印（更大的纸会更好）。

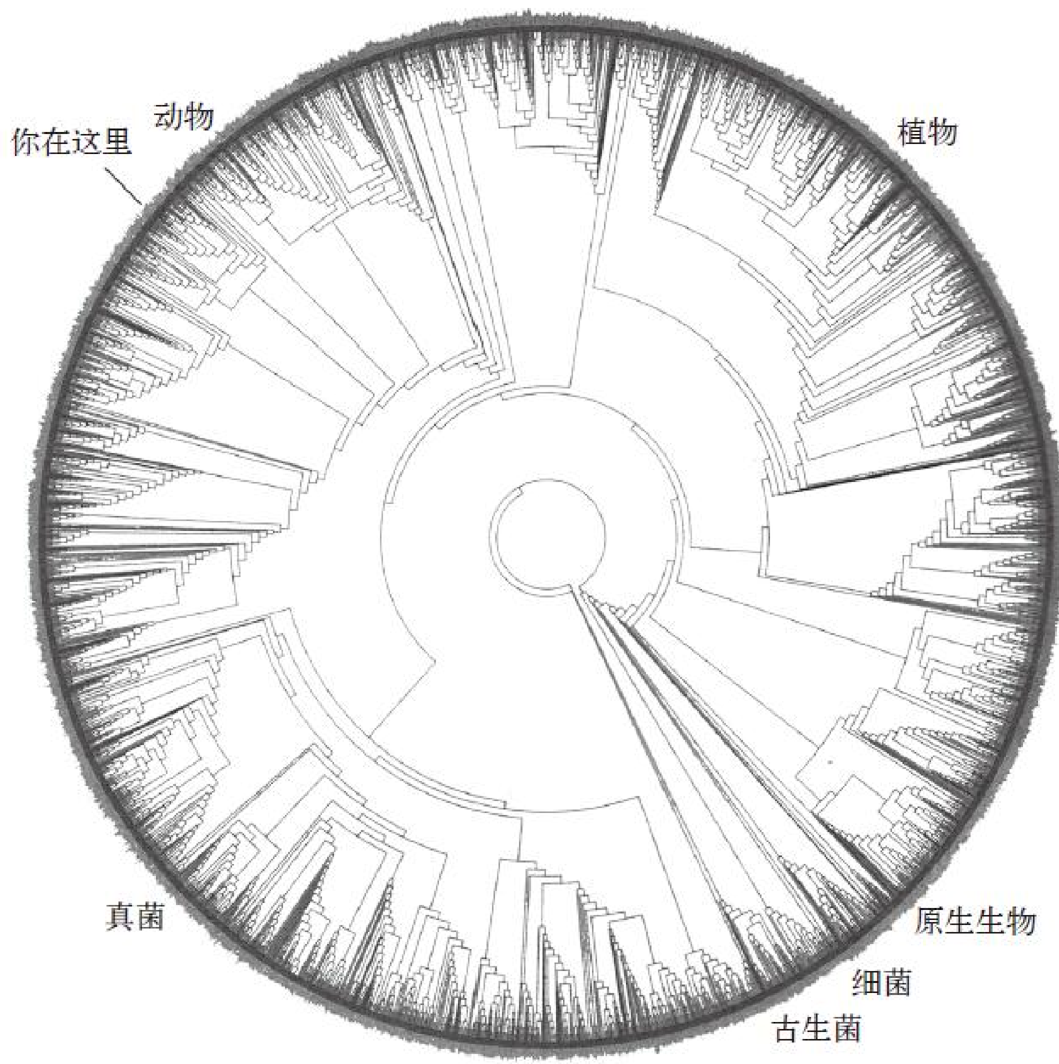


图72 希利斯图

---

1. 也许对于“所有生物”，我需要做一个提醒。在本章前面的部分，我们看到“不借用原则”对动物和植物几乎是完全适用的，但细菌却不是这样。细菌中有大量的基因共享现象（还有古生菌，外表和细菌相似，但亲缘关系相对较远）。动物通过两性相交，实现种内DNA互换，然而细菌通过它们独有的“复制和粘贴”方式来向周围传递DNA，甚至是在较远缘的物种间亦是如此。尽管我高歌动植物组成的“一棵真正的生命树”是正确的，但当我们转而研究微生物时，整个情况变得棘手。正如我的同事、哲学家丹·丹尼特（Dan Dennett）把动物的生命树比作一棵枝繁叶茂的橡树，细菌的树则更像一棵榕树。就细菌而言，有一种说法：我们可以分别为每个基因编纂“一棵真正的谱系树”，不管该基因游移到哪一个具体种类的细菌体内。这是一个多么迷人的前景啊。达尔文不知会多么喜欢！
2. 现代人的学名。——译者注

分子钟

现在，当我们谈论分子时，我们有一些自“进化钟”那一章留下的“未尽事宜”需要处理。在那一章，我们看到树的年轮，还有各种放射性时钟，但是在了解分子遗传学的一些其他方面之前，我们推迟了考虑所谓的“分子钟”。现在到了考虑它的时候。请将本节当作“安静与缓慢的时间”一章的附录。

“分子钟”认为进化是真的，而且，它在地质时间中以足够恒定的速率运转，它可以用化石校准，而化石又可以被放射性时钟校准，故进化本身可被作为一个“时钟”。就好比，“蜡烛时钟”被认为是以某一固定且已知的速率燃烧的；“水钟”的水从水箱中排出的速率是可以被校准的；老式时钟的钟摆被认为是以固定速率摆动的；同样，“分子钟”的原理认定了进化的某些方面是以固定速率运转的。该固定速率，可以被记录良好的（通过放射性确定年代）部分进化档案来进行校准。一旦校准，分子时钟就可应用于研究进化的其他方面，即那些没有良好化石记录的方面。例如，它可以应用于不具备硬骨骼或很少变成化石的动物。

这是一个好主意！不过，我们凭什么可以希望找到以恒定速率进行的进化过程呢？事实上，很多证据表明进化速率是高度变化的。早在现代分子生物学时代之前，霍尔丹就提出以“达尔文”作为进化速率的度量单位。假设，在进化的时间里，动物的一些可测量的性状始终朝同一方向变化。例如，假设平均腿长一直在增长。如果在一个100万年的周期，腿长以一个e的倍数倍增[注]（e=2.718...，选择这个数字是为了计算方便，这里我们无须深入讨论），这个进化性改变的速率就被称为“1达尔文”。霍尔丹自己评估马的进化速率约为40毫达尔

文，而他提出在人工选择下的家养动物的进化速率应以“千达尔文”来衡量。如第五章所述，若孔雀鱼迁入没有其捕食者的溪水中，它的进化速率估计为45千达尔文。进化的“活化石”，如海豆芽（见第五章末）的进化速率很可能要以“微达尔文”来衡量。这回你明白了：你能够看见和测量的事物（如腿和嘴）的进化速率，都是非常多变的。

如果进化的速率如此多变，那么我们怎么能指望将“进化”作为时钟呢？这就需要分子遗传学前来“救驾”。初看之下，分子遗传学没有清楚地展现出它是如何做到这一点的。当像腿长这样的可测量性状进化时，我们看到了一个内在遗传变化的外在、可见的表现形式。那么，为什么分子水平上的变化速率“提供”了一个良好的时钟，而腿或翅膀的进化速率则不是呢？如果腿和嘴的进化改变的速率范围为“微达尔文”到“千达尔文”，为什么还可以将分子作为可靠的时钟呢？答案是，通过外在、可见的进化形态（如胳膊和腿）显示出来的基因变化，是非常小的冰山一角，并且是受到各种自然选择严重影响的一角。因为在分子水平上的基因变化大都是“中性”的，所以我们可认为它们进行的速率不受实用性的支配，甚至任何一个基因变化的速率都几乎是恒定不变的。一个中性的基因变化，对动物的生存没有影响，而这对于一个时钟来说，则是有用的凭据。这是因为影响生存的基因（无论是有利还是有害），都将被认为进化的速率已发生了变化。

分子进化的中性学说由著名的日本遗传学家木村资生（Motoo Kimura）率先提出时曾备受争议，但它的一些版本现在已被广泛接受，这里将不论述其细节性证据，在本书中，我将接受这一学说。你大可放心，因为我作为“大适应主义者”（据称这类学者痴迷地认为自然选择是主要的，甚至是唯一的进化推动力）是名声在外的，如果连我都支持中性学说，那么反对中性学说的生物学家必然很少！注

中性突变可以很容易地通过分子遗传学技术测量，但它不受自然选择的影响——无论是正面还是负面的影响。“假基因”之所以是中性的，其中有着某种原因。它们曾经进行一些有用的工作，但现在已经置身事外，不再被转录或被翻译了。就动物的福祉而言，假基因不存在也没有关系。但对科学家而言，它们的存在真是太好了，它们正是构成一个进化时钟所不可或缺的要素。假基因只是胚胎发育中从不被翻译的基因中的一种。科学家在构建分子钟时，他们也钟爱其他种类不被翻译的基因，但对此我不详述。假基因的用途在于，它使创世论者感到尴尬。它甚至使创世论者绞尽脑汁地去编造一个“令人信服”的理由，来说明一个聪明的设计师为什么竟然制造了一个假基因——一个完全不干事儿的基因，并且，它方方面面都表现为一个旧版的、曾发挥某种作用的基因，除非这个设计师是故意要愚弄我们。

抛开假基因不论，还有一个值得注意的事实：鉴于基因组的大部分“作用甚微”，它们其实是可以不存在的（就人类基因组来说，95%的作用甚微）。中性学说也适用于余下的5%的基因（那些被读取和使用的基因）中的许多基因。它甚至适用于攸关生存的基因。这里我必须说得明确一些。我们并不是说一个适用中性理论的基因对人体没有影响。我们要说的是，这一个基因的突变版和其未突变版作用完全相同。无论基因本身可能是重要的或不重要的，突变版和未突变版的作用都是一样的。假基因本身可以被恰当地描述为中性，但是我们现在谈论的仅仅是可以被严格描述为中性的“突变”（即基因的改变），而不是基因本身。

各种原因均可导致中性突变。DNA密码是一种“简并编码”（degenerate code）。这是一种技术性术语，是指一些代码组成的“词”恰好是其他代码的同义词[注]。当一个基因突变为它的一个同义基因时，你可能根本不会多此一举地称之为突变。的确，就它对身体的影响而言，它并不是一个突变。基于同样的原因，从自然选择的角度思考，它也根本不是一个突变。但对于分子遗传学家来说，它是一

个突变，因为他们可以通过自己的方法看到这一变化。就好比我在写一个单词时改变了它的字体，把袋鼠写成了袋鼠。但你仍然可以读出这个词，它仍然意味着同一种澳大利亚跳跃动物。从一种字体变为另一种字体是看得出来的，但这一变化与单词的含义无关。

然而，并非所有“中性”突变都是这般地“中性”。有时新基因会被翻译成一个不同的蛋白质，但新蛋白质的“活性位点”（还记得我们在第八章谈到的“精心塑造”的“凹痕”吧）仍然和旧蛋白质的一样。因此，真真正正地来讲，这对身体的胚胎发育没有影响。就对身体的影响而言，该基因未突变和突变的形式仍然是同义的。也有可能一些突变真的改变了身体的形态（虽然像我这样的“极端达尔文主义者”倾向于反对这个观点），但这种改变方式（无论是采取前者还是后者）未对生存造成影响。

现在，总结一下中性理论——说一个基因或突变是“中性”的，不一定意味着该基因本身是无用的。它可能对动物的生存至关重要。这其中的含义是：一个基因（对生存可能重要也可能不重要）的突变形式和未突变形式就对生存的作用而言（这点可能是非常重要的）都是相同的。如所发生的那样，我们说大多数突变是中性的，这大概是符合事实的。自然选择无法检测到它们，但分子遗传学家却检测得到，这一点对于一个进化时钟来说，是一个理想的组件。

所有这些都不会贬低“进化冰山”上至关重要的一角——少数并非中性的突变。在进化改良过程中，正是它们经受了正向或者负向的选择。它们，就是其影响被我们实际看到的基因（自然选择也“看”到了）。正是对它们的选择，给我们造成了“生物是设计的”这一惊人错觉。但是，冰山余下的部分——中性突变，仍是多数，而这些是当我们谈论分子钟时应该考虑的内容。

随着地质时间的推移，基因组受到“突变”如雨一般的冲刷作用。基因组中产生的一小部分突变的确与生存相关，自然选择很快摒

除了坏基因，选择了好基因。另一方面，中性突变只是简单地积累，没有受到惩罚，也未引人注意——除了分子遗传学家。现在我们需要一个新的技术性术语：“固定”（fixation）。一个新的突变——如果真是新突变，它在基因库中的频率会很低。如果你在100万年后再次查看基因库，可能这个突变的频率将会提高到100％或接近100%。如果发生这种情况，就是说该突变已“趋于固定”，我们就不应该再将它视为一个突变了，它已经成为一种常态。突变要趋于固定，明显的方式是获得自然选择的青睐。但还有另一种方式——它可以由机会“固定”。就像一个曾经令人引以为傲的姓氏，因为缺乏男性继承人而消失。所以，我们正在谈论的突变的另一种可选版本，可能恰好就从基因库中消失了。突变本身可能会在基因库中逐渐频繁，就像“史密斯”（Smith）通过同样的好运气而成了英国最常见的姓。当然，如果基因由于一个好的原因（即自然选择）而趋于固定，那就更加有趣了，但考虑到生物世代的数量足够庞大，基因也可以由于机会而趋向固定。地质时间是浩瀚的，足以使中性突变以一个可预见的速率趋于固定。尽管突变趋于固定的速率各不相同，但特定的基因具有特有的速率，而且大多数突变是中性的，正是这些使分子钟成为可能。

“固定”对于分子钟来说至关重要，因为“固定的”基因就是当我们比较两个现代动物，试图估计它们的祖先在多久以前分道扬镳时，所观察的基因。“固定的基因”塑造了一个物种的特征。它们在基因库中并不具有普遍性。我们可以比较两个物种的各自已经固定的基因，来估计这两个物种是在多久以前才发生了分化。我不愿继续深入讨论其中复杂的内容，因为我和王彦（Yan Wong）在“天鹅绒虫故事尾声”（The Epilogue to the Velvet Worm’s Tale）里已充分论述过。在各种前提下，并伴随各种因素的校正，分子钟得以运转。

正如原子钟们嘀嗒运转的速率极其多变——它们半衰期的范围从不到一秒到上百亿年，不同的基因也提供了量程极其广泛的分子钟，它们可以测定的进化变化的时间范围从100万年到10亿年不等（包括居

中的各种时间长度）。正如每个放射性同位素都有其特定的半衰期一样，每个基因也都有一个特定的周转率——一个新突变通常由于随机机会而趋于固定的速率。组蛋白基因，它特定地以每10亿年一次突变的速率而发生周转；血纤维蛋白肽基因的周转率则比它快1000倍，其新突变被固定的周转率为每100万年一次。细胞色素C和血红蛋白基因家族周转率居中，其基因固定时间要以数百万到数千万年的尺度进行衡量。

不论原子钟还是分子钟，都像摆钟或手表那样，以一种规律的方式敲打着钟点。它们的嘀嗒声（如果你能听到的话），听起来就像一个盖革计数器，原子钟就是那样，因为盖革计数器正是你用来听原子钟声音的仪器。盖革计数器并不像手表那样规则地嘀嗒作响；它随机地敲打，它的“敲打声”表现为奇怪的、断断续续的爆裂。如果我们能在极其漫长的地质时间中听到“突变”和“固定”的声音的话，这就是它们听起来的样子。但是，无论是像盖革计数器那样断断续续地作响，还是像手表那样有节拍地嘀嗒作响，对于计时器来说，最重要的一点就是，它应该以一个已知的平均速率而嘀嗒运转。原子钟做到了这一点，分子钟也做到了这一点。

我以“分子钟认为进化是真实的”为前提来介绍分子钟，因此这不能作为进化事实的证据。但现在我们已经理解了分子钟是如何运作的，可以看出我曾经过于悲观了——假基因（与“有用基因”明显相似，但不被转录的“无用基因”）的存在，就是动植物将其历史撰写于它们全身的完美例证。但这是一个必须留到下一章讨论的主题。

---

1. 在我的工程师祖父的推荐下，我第一次阅读了西尔维纳斯·汤普森（Silvanus P. Thompson）的《轻松学习微积分》（*Calculus Made Easy*），当汤普森用斜体介绍e是“一个从未被遗忘的数字”时，我激动不已。使用e的重要性之一，不仅仅是说将2作为一个选择因子，而是你可以直接地通过数间自然对数相减来计算达尔文。其他科学家已经提出以“霍尔丹”作为进化速率的单位。

2. 我甚至被称为“极端达尔文主义者”，这是一种嘲弄，该词的创造者可能有意想要侮辱我，但我没有觉得这是什么侮辱。

3. “简并”和“冗余”（redundant）不同（虽然这两个术语经常被混淆），后者是信息理论的术语。冗余代码是指相同的信息传递不止一次的代码（如“她是一个女性女人”三次传达出“她是女性”这个信息）。“冗余”被工程师用于防止传输错误。一个简并代码是指一个以上的“词”被用来代表同一件事。在基因密码中，例如，CUC和CUG都可翻译成“亮氨酸”：因此一种从CUG变成CUC的突变，没有造成任何影响。这就是“简并”。

第十一章 历史，写满我们的全身

本书的开始，我杜撰了一位拉丁语老师被迫耗时费力地去捍卫一项命题——“罗马人及其语言曾经存在过”。现在，让我们回到这一思路，并对罗马帝国和拉丁语的存在证据一探究竟。我住在英国，这里和欧洲其他地方一样，地图上已被罗马写满了她的签名——在山水之间开凿了她的道路，在我们的语言之中交织了她的语言，在我们的文学之内融合了她的历史。沿着“哈德良长城”（Hadrian’s Wall）漫步，其被当地人认可的名字仍然是“罗马长城”（The Roman Wall）。我从新索尔兹伯里（new Salisbury）寄宿学校出发，如鳄鱼般摇头摆尾边走边看，走到罗马旧塞勒姆（Old Sarum）的火石堡，在那里与臆想的亡故军团的鬼魂交流（并原路返回）。当你展开英格兰的地形测绘详图，无论在图上哪里看到一条长而笔直的乡村公路，尤其是当有碧绿田野镶嵌在延伸的公路或载货通道之间，你完全可以用尺子吻合其边缘，这时你几乎总能在它旁边找到一个罗马标签。罗马帝国的遗迹，遍布我们的周围。

生物也一样——它们周身都写满了自己的历史。它们的每一根汗毛都布满了与罗马道路、城墙、纪念碑、陶片等同的生物性遗迹，甚至有雕刻在活性DNA上的古老铭文，有待学者们来破译。

“每一根汗毛”？是的，真真正正，没有夸张。当你受寒或受到严重惊吓，或被莎士比亚十四行诗的无双绝句打动心弦，你就会起鸡皮疙瘩。为什么？因为你的祖先是周身密被毛发的普通哺乳动物，这些毛发竖起或平复，都是按照身体内敏感的调温装置发出的指令而做出的。太冷，毛发竖起以笼络空气形成绝缘层。太热，则整个毛皮平复，让身体的热量更容易散发。在随后的进化中，立毛系统被“劫

持”用于社会沟通的目的，这被囊括在达尔文的《人类和动物的表情》（*The Expression of the Emotions*）一书中，达尔文凭此成为最早赏析此事的作家之一。我忍不住想要与你们分享达尔文在此书中的一些句子：

> 萨顿先生（Mr. Sutton）是动物园里善于思考的饲养员，他为我仔细地观察了黑猩猩和猩猩，并指出，当它们突然受惊，如被雷雨吓到，或当它们被戏弄而激怒之时，它们的毛发就会立起来。我看到过一只被黝黑的煤炭工人吓到的黑猩猩，其浑身上下的毛发都立了起来……我把一条玩具蛇放到猴屋里，其中几只猴子的毛发瞬间就变得直立……当我向一头野猪展示一条玩具蛇时，它的毛沿着背部以奇妙的方式立起来；而当野猪被激怒时，也是这样的。

狗颈部的毛在愤怒时也会立起。恐惧，也会使毛发竖立，以增大身体的外观尺寸并吓跑危险的竞争对手或天敌。即使是我们这些裸猿，仍然有使已不存在（或几乎不存在）的毛发立起的器官，我们称它为“鸡皮疙瘩”。立毛系统是一个“痕迹器官”，是某种已无功能的器官遗迹——它曾经在我们早已死亡的祖先那里承担着有用的功能。残留的毛发是众多书写于我们身上的史实之一。它们构成了具有说服力的证据，以此表明进化曾发生过——而且要再次强调，该证据并非来自化石，而是来自现代动物。

正如我们在前面章节中所看到的，我将海豚与一条同等大小的鱼相比较（如剑鱼），你不必非得解剖海豚直至体内深处，就能揭示它曾在陆地上生活过的历史。尽管它具有流线型、鱼般的外形，而且事实上它如今完全生活在海里，一旦搁浅就会很快死亡，但海豚（不是剑鱼）仍有“陆地哺乳动物”的组织贯穿其身体的纵横面。它有肺而没有鳃，虽然它屏息的时间要大大长于陆地哺乳动物，但它和任何陆地动物一样——如果被阻住空气的进入，它将溺毙。它用尽各种方

式，改变它呼吸空气的器官，以适应水的世界。它不是像任何正常的陆地哺乳动物那样，通过鼻子的两个小鼻孔呼吸，而是在它的头顶有一个单一的鼻孔，这使它只需露出水面即可呼吸。这种“气孔”有一个严密的阀门，能将水阻隔在体外，而且该“气孔”的口径很大，可以最大限度地缩短一次呼吸所需的时间。1845年，在一封致皇家学会（Royal Society）的信中（达尔文作为该学会的一个成员，很有可能读过这封信），弗朗西斯·西布森阁下（Francis Sibson Esq.）注写道：“用于打开和关闭气孔，并作用于各种囊结构的肌肉群，形成了一部最复杂也是调整得最精巧的机械装置——这个机械装置要么是自然的产物，要么是技艺的结晶。”海豚的气孔在竭尽全力地纠正一个问题，而如果它像鱼那样用鳃呼吸，是不会产生这个问题的，并且，气孔的许多细节可看作是对“进气的鼻孔转移到头顶”产生的衍生问题的修正。一位真正的设计师本应该首先就将气孔设计为安在头顶——在他不打算取消肺采用鳃的情况下。贯穿本章全文，我们将会不断地发现，通过事后补偿或调整，进化过程会修改最初的“错误”或“历史遗迹”，而并不是像一位真正的设计师那样“回到绘图板去重绘设计图”。无论如何，关于海豚拥有陆地远祖的这件事，精细而复杂的气孔通道可作为颇具说服力的证据。

可以说，海豚和鲸鱼以不可胜数的其他方式在遍布体内体外的地方写满了其古老的历史，就像在英格兰地图上纵横交错的笔直的货运道和马车道构成罗马道路的遗迹。鲸没有后腿，但有深埋于皮下的微小骨骼，那是它们早已逝去的步行祖先所残存的骨盆带和后腿。此外，海牛目哺乳动物或大海牛亦是如此［我已经提过它们好几次了：海牛、儒艮还有24英寸长的斯特拉氏（Steller’s）大海牛，后者已因人类的捕杀而灭绝］注。海牛目哺乳动物与鲸鱼和海豚有很大的不同，它们是除鲸豚类之外唯一从不上岸的全海洋哺乳动物。海豚是速度快、头脑敏捷的食肉动物，海牛和儒艮是行动迟缓、傻傻的食草动物。当我参观位于佛罗里达州西部的海牛水族馆时，就是那一次，我

没有因那里扬声器所播放的音乐而抓狂。这令人酣甜欲睡的潟湖音乐，听起来是如此慵懒怡人，使人忘怀一切。海牛和儒艮处于静态平衡时，能毫不费力地悬浮在水中，但不像鱼那样依靠鳔漂浮（见下文），而是依靠其肉脂产生的天然浮力和与之抗衡的沉重的骨骼。因此，海牛和儒艮的比重是非常接近水的，并且它们可以通过收缩或扩大胸腔进行微调。它们浮力控制的精度，被每个肺都有的一个独立的腔所增强：它们有两个单独的横膈膜。

像所有的哺乳动物一样，海豚和鲸、儒艮和海牛都是产下活的幼崽。事实上，这个习性并不是哺乳动物的专利。许多鱼也是胎生的，但其“产子”的方式非常不同（事实上这些令人目眩神迷、与众不同的各种方式，无疑是各自独立进化的结果）。海豚的胎盘确凿无疑地表明了它的哺乳动物身份，它用乳汁哺育幼崽的习性，也可表明这一点。它的大脑毋庸置疑也是哺乳动物的大脑，而且是非常高等的哺乳动物的大脑。哺乳动物的大脑皮层，是包裹在脑外部的一层灰质。哺乳动物若要变得更聪明，增加大脑皮层的面积是途径之一。这可以通过增大大脑的总容量和扩大容纳大脑的头骨来做到。但大头骨也有其不利之处，因为这会使胎儿更难产出。因此，聪明的哺乳动物都在头骨设定的范围内设法增加大脑皮层面积——它们通过让整个皮层充满深深的褶皱和裂纹来做到这一点。这就是为什么人类的大脑看起来像一颗布满皱纹的核桃；而海豚和鲸的大脑因其具有褶皱，是唯一可与我们这些猿类相媲美的大脑。鱼的大脑没有一点褶皱。事实上，它们连大脑皮质都没有，而且与海豚或人类的大脑相比，整个鱼脑都很小（见图73）。海豚哺乳动物的历史，深深镌刻在它们大脑褶皱的表面。这是它哺乳性的一部分，此外还有胎盘、乳汁、有4个房室的心脏、只有一块单骨构成的下颚、温血，以及哺乳动物所特有的许多其他特征。

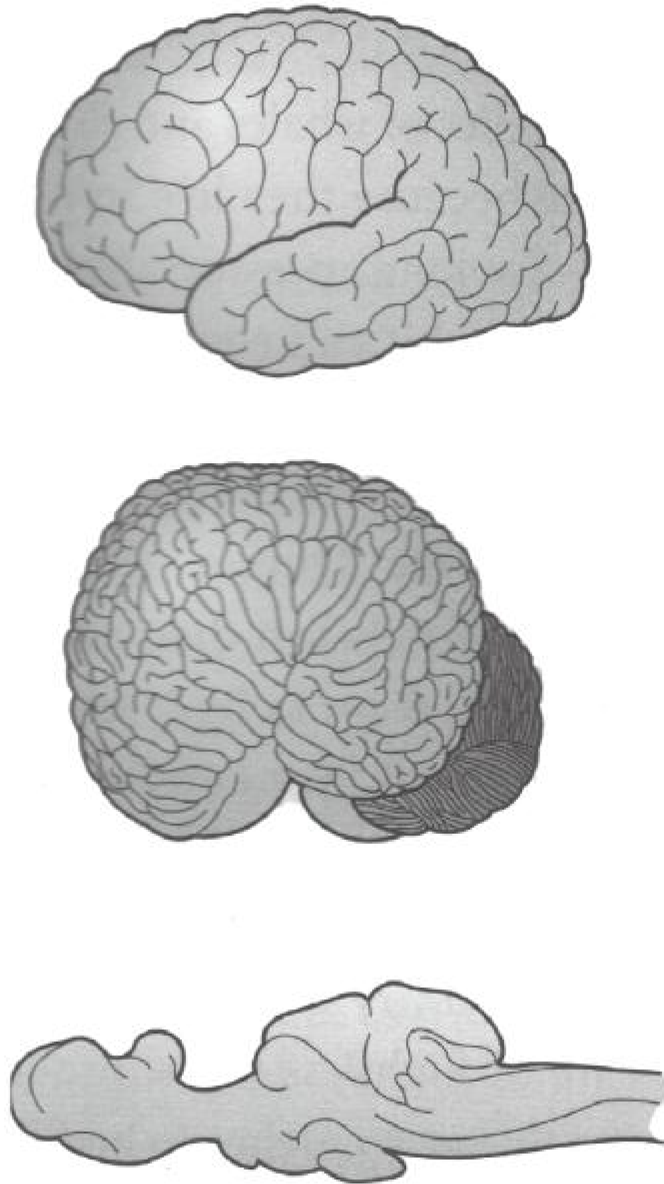


图73 人类的大脑（上）、海豚的大脑（中）、鲑鱼的脑（下）（不按比例）

我们将哺乳动物和鸟类称为温血动物，但它们真正拥有的是不管外面温度如何，都能保持体温恒定的能力。这是一条妙计，因为这样的话，细胞中的化学反应都可以在特定温度下被最优化，达到最佳反应状态。“冷血”动物不一定都是冷的。如果蜥蜴和哺乳动物都暴露在撒哈拉沙漠的正午阳光下，蜥蜴血液的温度会高过哺乳动物血液的温度。如果它们都在雪地里，蜥蜴的血液就会冷于哺乳动物的血液。

哺乳动物一直都拥有恒定的温度，而且它必须依靠内部机制努力保持体温恒定。蜥蜴则用外在方式来调节温度——当它们需要温暖自己时，就移动到太阳下，而当它们需要降温时，就移动到阴凉地里。哺乳动物可以更准确地调节它们的体温，海豚也不例外。再次强调，它们作为哺乳动物的历史遍布全身，即使它们重回海里生活也不例外（在海里，其他大多数动物都不保持体温恒定）。

---

1. 在英国，“Esq.”表示“阁下”（虽然该使用方式日趋罕见，但现今仍在使用），而不像它在美国表示“律师”（我最近才发现的）。甚至，我曾遇到过的美国女律师都称自己为“Esq.”。这令英国人感觉奇怪，就好像美国人发现第一位女性首席大法官（相当于英国最高法院大法官）被称为Lord一样［如Lord Justice Elizabeth Butler-Sloss（大法官伊丽莎白·巴特勒-索洛斯）］。似乎英语“Esq.”的用法在世界的许多其他地方更为奇怪。有人告诉我，在世界各地的酒店里，E分类架上都塞满了未投递的寻找一位Esq.先生的信件。

2. 把海牛类认作传说中的海妖，可能是因为它们与其陆地亲属大象共有的一个生活习惯——用乳房哺乳其幼崽。也许被长期性压抑的水手在海上遇见，从远处误认为它们是女人。“人鱼传说”往往缘于海牛类。

曾经自豪的翅膀

在鲸目和海牛目哺乳动物体内，我们注意到大量的历史遗迹器官，因为和它们定居在陆地的祖先相比，它们生活在一个截然不同的环境里。类似的原理也适用于那些已失去飞行习性和飞行器官的鸟类。不是所有的鸟都会飞，但所有的鸟都至少具有飞行的器官或遗迹。鸵鸟和鸸鹋是擅长快速奔跑的鸟，它们永远不会飞，但它们拥有残留翅基，这是从久远之前会飞的祖先那里继承的一份遗产。此外，鸵鸟的残留翅基并没有完全失去其效用。虽然它们太小了不能用于飞行，但它们似乎在鸵鸟奔跑时具有某种平衡和掌舵的作用，并且参与社交展示和性展示。几维鸟的翅膀小到无法透过这种鸟漂亮的外部羽衣而被观察发现，但翅膀骨骼的遗迹仍旧在那儿。恐鸟则完全失去了它们的翅膀。顺便说一下，在它们的原产国新西兰，不会飞的鸟多得出奇，这大概是因为哺乳动物的缺失而留下了宽广的、待填补的生态位，可以由任何能飞到那儿的生物填补。但这些飞行的先驱用翅膀飞到那儿，后来填补了哺乳动物在地面上的空位，失去了翅膀。但这可能并不适用于恐鸟本身，因为当这一事件发生时，南方大陆冈瓦纳尚未分裂成各个板块，那时恐鸟的祖先已经不会飞了，新西兰正是这些分裂后的陆地之一，每块陆地都分别承载了冈瓦纳大陆上原属于自己那一部分的动物。而这个原则肯定适用于鸮鹦鹉，一种生活在新西兰、不会飞的鹦鹉，它会飞的祖先显然曾生活在距今较近的时期，以至于鸮鹦鹉至今仍旧尝试着飞翔，虽然它们缺乏取得成功的必要装备。引用不朽的英国作家道格拉斯·亚当斯（Douglas Adams）在《最后一眼》（*Last Chance to See*）里所说的话：

这是一只非常胖的鸟。一只大型成年鸟的体重约有六七磅，而当它认为它即将被某个东西绊倒时，它的翅膀多少还是可以做出一些有效的摆动——但跟飞翔完全是两码事儿。然而可悲的是，这只鸮鹦鹉似乎不仅已忘记了飞行，它还忘记了自己已不会飞。显然，一只忧心忡忡的鸮鹦鹉有时会蹿上树再跳下来，于是它就像砖块一样“飞”了起来，并以一种粗野的姿势摔落在地上。

鸵鸟、鸸鹋和美洲鸵，是知名的走禽，而企鹅和加拉帕戈斯群岛的不会飞的鸬鹚，则是知名的游禽。我曾有幸在伊莎贝拉岛一个宽大的石塘里和一只不会飞的鸬鹚一起游泳，并且目睹了它的速度和灵活性，我对此感到陶醉——它一次接一次地在海底缝隙中搜寻食物，并在水面下停留了一段长度惊人的时间（我得利用一根浮潜呼吸管才能做到这一点）。鸬鹚不像用短翅进行“水下飞行”的企鹅，还有加拉帕戈斯鸬鹚（用自己强大的腿和巨大的脚蹼推动自己向前），鸬鹚只将其翅膀用作平衡器。所有不会飞的鸟类，包括鸵鸟以及类似鸵鸟的鸟类，虽然在很久以前就失去了自己的翅膀——但它们显然都传衍自曾用翅膀飞行的祖先。任何理性的观察者都不会怀疑这一事实，这就意味着当任何人思考这一点，都会发现很难或不可能质疑进化的事实。

许多不同组群的昆虫，也已经失去了自己的翅，或已将翅大大缩短。它们与原始的无翅昆虫（如蠹虫、跳蚤和虱子）不同，它们失去了自己祖先曾经有过的翅。雌性舞毒蛾拥有未发育的翅肌，并且不会飞。它们并不需要会飞，因为雄性会飞向它们，它们通过一种化学物质吸引雄性，一种即便经过极度稀释，仍可被察觉出来的物质。如果雌性像雄性一样飞舞，这套系统反而可能无法正常工作，因为当雄性顺着缓缓飘流的化学梯度飞来的时候，其释放者已经离开了！

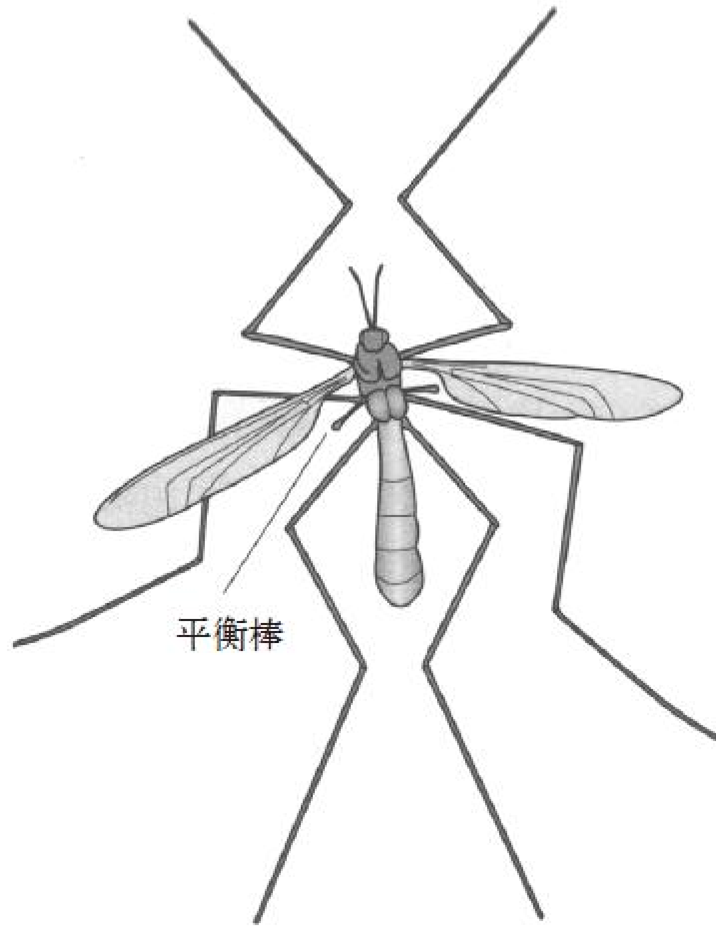


图74 大蚊的平衡棒

大多数昆虫有四个翅，而苍蝇只有两个翅，正如它们的拉丁名Diptera（双翅目）所示。它们的第二对翅已缩短，变成一对“平衡棒”（见图74）。这对“翅”摇摆得像快节奏的体操棒，并执行微型陀螺仪的功能。我们怎么知道“平衡棒”来自祖先的翅呢？有几个原因。“平衡棒”位于第三胸节的位置完全和会飞的翅在第二胸节的位置一样（并且，其他昆虫第三胸节也有翅，位置也一样）。“平衡棒”的运动方式，和苍蝇的翅也一样，都是“8”字形。它们和翅来源于同一胚层，并且，虽然它们很微小，但是如果你仔细观察它们，特别是观察其发育过程，你可以看到，它们明显就是源自祖先的并经改进的发育不良的翅——除非你是一个进化论的否认者。以相同的故事

为证——存在突变的果蝇，所谓的同源突变体，其胚胎发育异常，发育成的不是平衡棒，而是第二对翅，就像蜜蜂或任何其他种类的昆虫一样。

翅和平衡棒之间的中间状态会是什么样子，而且为什么自然选择会青睐这个中间状态呢？一根不完全的平衡棒的作用是什么？我在牛津大学的老师普林格尔（J. W. S. Pringle）是一位老教授，他冷峻的姿态和拘谨的举止为他赢得了“搞笑约翰”（Laughing John）的绰号，他的主要贡献就是弄明白了平衡棒是如何工作的。他指出，所有昆虫的翅基都有微小的感觉器官，用来侦测扭曲力和其他的力。平衡棒基部的感觉器官与之非常相似——这是“平衡棒是修正后的翅”的另一个证据。很久以前，在平衡棒尚未进化出来时，信息从感觉器官的基部流入神经系统，从而使翅在飞行时快速振动起到原始陀螺仪的作用。因为在一定程度上任何飞行器都是不稳定的，所以它需要通过精密的仪器设备进行补偿，例如用陀螺仪。

关于稳定和不稳定飞行器的整个进化问题，是非常有趣的。看看这两只翼龙，它们都是已灭绝的会飞的爬行动物，和恐龙处于同一时代。任何一个航空工程师都会告诉你，在图75上方的早期翼龙——喙嘴翼龙（*Rhamphorhynchus*）一定是一个稳定的飞行器，因为它有一条长长的尾巴，末端还有一个乒乓球拍样的结构。喙嘴翼龙不需要像苍蝇的平衡棒那样的复杂的陀螺控制，因为它的尾巴使它具有内在的稳定性。另一方面，同一个工程师可能会告诉你，它的可操作性不会很强。任何飞行器，都会在稳定性和可操作性之间作出取舍。伟大的约翰·梅纳德·史密斯（John Maynard Smith）在重返校园攻读动物学之前曾是一位飞机设计师（他因为飞机的噪声和老旧造型而改行），他指出，在进化的时光里，飞行动物会沿着这种取舍的范围来回变化，有时为了要增加可操作性而牺牲了其内在的稳定性，但需要为此付出增加仪器和计算能力（即脑力）的代价。在图75下方的是古魔翼龙（*Anhanguera*），一种白垩纪的新型翼龙，约生活在侏罗纪的喙嘴

翼龙6000万年之后。古魔翼龙几乎没有一点儿尾巴，类似现代的蝙蝠。像蝙蝠一样，它肯定会是一架不稳定的“飞机”，依赖于仪器和计算来不断地对其整个飞行表面进行即时的微妙调控。

当然，古魔翼龙没有平衡棒。它会利用其他感觉器官提供等效的信息，可能是内耳里的半规管。在那些我们已经发现的翼手龙体内，这些半规管确实非常大——虽然这对梅纳德·史密斯假说而言是一个令人失望的发现，因为喙嘴翼龙体内的半规管和古魔翼龙体内的半规管是一样大的。但是，回头看看苍蝇，普林格尔提出，苍蝇的四翼祖先可能有个长腹，这能使它们稳定。所有的4个翅都能充当简易陀螺仪。然后，他接着阐述，苍蝇的祖先开始在稳定性的范围内连续变动，使腹部变得更短，从而增大灵活性，削弱稳定性。于是后翅开始更多地转而执行陀螺仪的功能（作为翅，它们一直都在部分地执行这个功能），因而后翅变得越来越小且相对于其尺寸来说是越来越重，而前翅扩大，接管更多的飞行功能。这应是一个渐进的、连续的变化过程，随着前翅担任越来越多的“飞行工作”，后翅便渐渐萎缩以接任“航电设备”的角色。

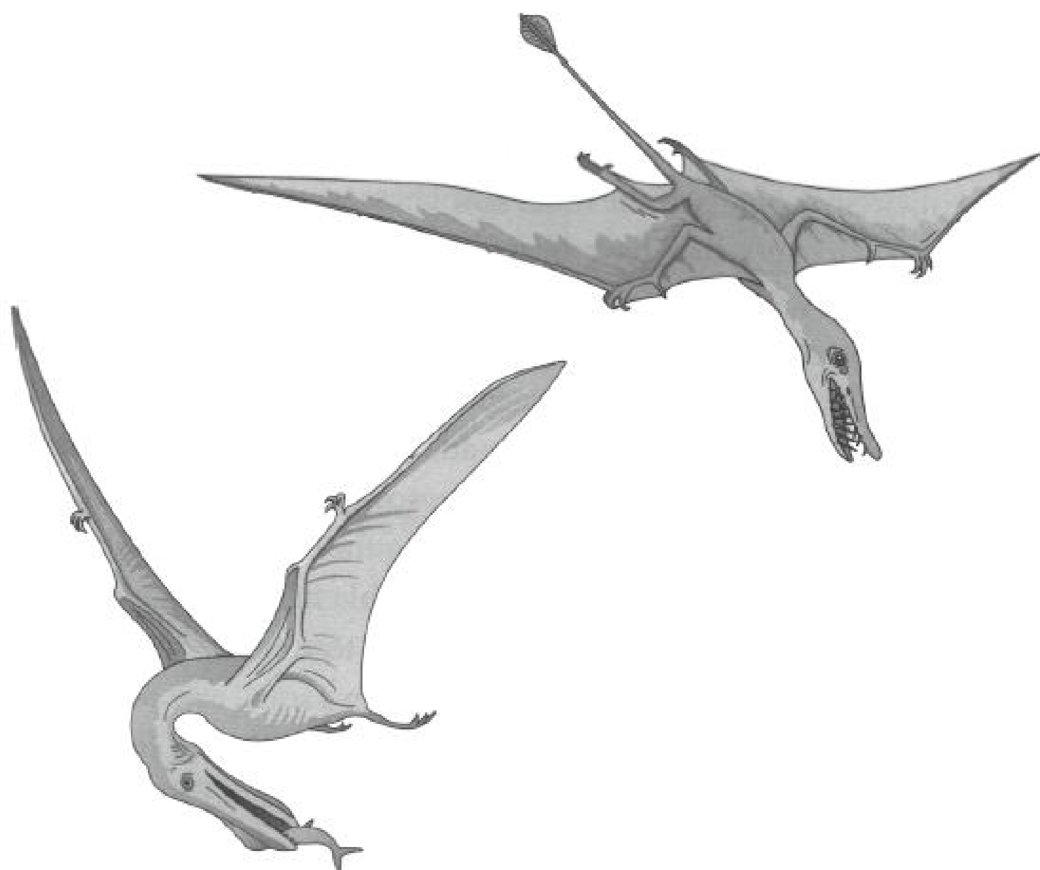


图75 喙嘴翼龙（上）和古魔翼龙（下）

工蚁已经失去了它们的翅，但没有失去生翅的潜力。有翅的历史仍然潜伏在它们体内。我们知道这一点，是因为蚁后（和雄蚁）有翅，而工蚁本来是可以变成蚁后的雌蚁，但它们出于环境的原因（而非遗传因素）未能成为蚁后[注]。想必工蚁在进化过程中就失去了自己的翅，因为翅在地下生活中是个麻烦。对于这一点，蚁后做出了辛酸的证明——它们一生只用自己的翅一次，就是为了飞出自己出生所在的巢穴，寻找伴侣，然后安顿下来并挖一个洞，作为新的巢穴。当它们开始地下的新生活时，它们所做的第一件事就是丢掉它们的翅，在某些情况下，简直就是要自己咬掉翅：痛苦（也许吧，谁知道？）的证据表明，翅是地下生活的一个麻烦。难怪工蚁压根儿就永远不会生翅。

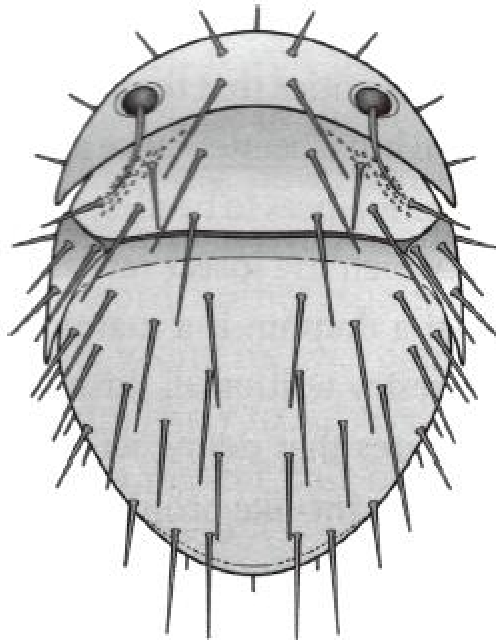


图76 蚤蝇科的寄生性蝇

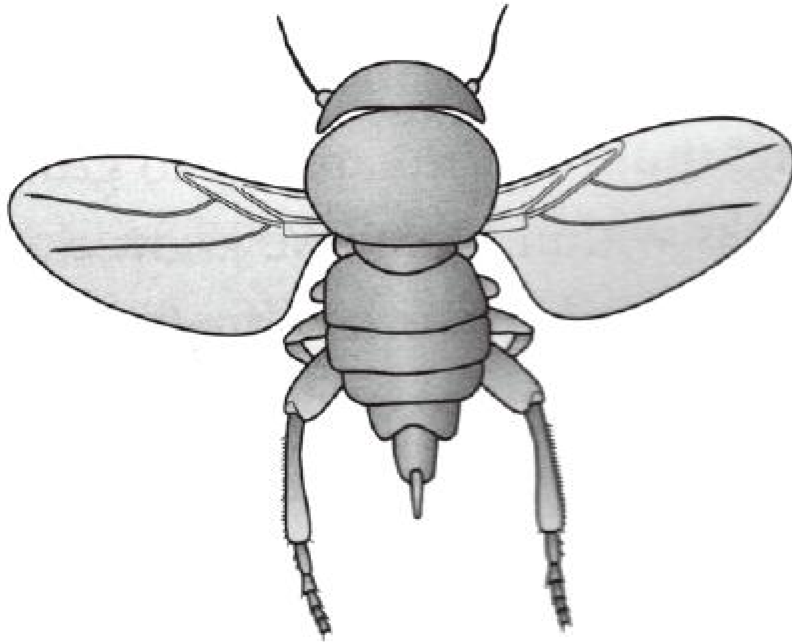


图77 蚤蝇科的另一种蝇

大概是出于类似的原因，蚂蚁和白蚁的巢，成为一群“非其族类”的无翅食客的家，它们依靠由浩浩荡荡、沙沙作响地来回往返的觅食蚁所带回的丰富采集物为食。对它们而言，翅同样是多余的障

碍，就像蚂蚁的情况一样。谁会相信，图76中的怪物是一只蝇呢？然而，我们从审慎且详尽的解剖研究中得知，它不仅是一只蝇，还是属于一个特定科——蚤蝇科的蝇，是白蚁巢中的寄生虫。再下一幅图，图77是同科的另一个正常得多的成员，它大概有点类似于前一幅图中那个无翅的古怪生物的有翅祖先，虽然它也是一种社会性昆虫蜜蜂的寄生虫。你可以看到，它和图76中那个怪物的镰刀形头部具有相似性，并且，这个怪物的发育不良的翅是位于身体两侧的刚好肉眼可见的小三角形。

在蚂蚁和白蚁的巢穴中，寄居着一群闲散的、“浑水摸鱼”的昆虫，对于它们，这里还有另外一个导致它们无翅的原因。在进化的时光里，它们（不是蚤蝇科的蝇）中的许多成员为了保护自己，便使自身与蚂蚁相似，或者以此来欺骗蚂蚁，或者以此来欺骗潜在的捕食者（或两个原因都有）——否则，这些捕食者可能会将它们从口感差、保护性好的蚂蚁中挑选出来吃掉。谁能只需随意一瞥，就能发现图78中这种生活在蚂蚁巢穴里的昆虫，根本不是蚂蚁，而是甲虫呢？那么，我们又是怎么知道的呢？因为它们与甲虫之间具有深层的、精细的相似之处，其数目远远超过了它们与蚂蚁在表面特征上的相似之处：就像我们知道海豚是一种哺乳动物，而不是鱼，这里是同样的道理。除去那些限定这种昆虫表面外观的特征，例如它的无翅和蚂蚁般的轮廓，它的全身上下，都被它的甲虫祖先写满了历史（依然与海豚的例子一样）。

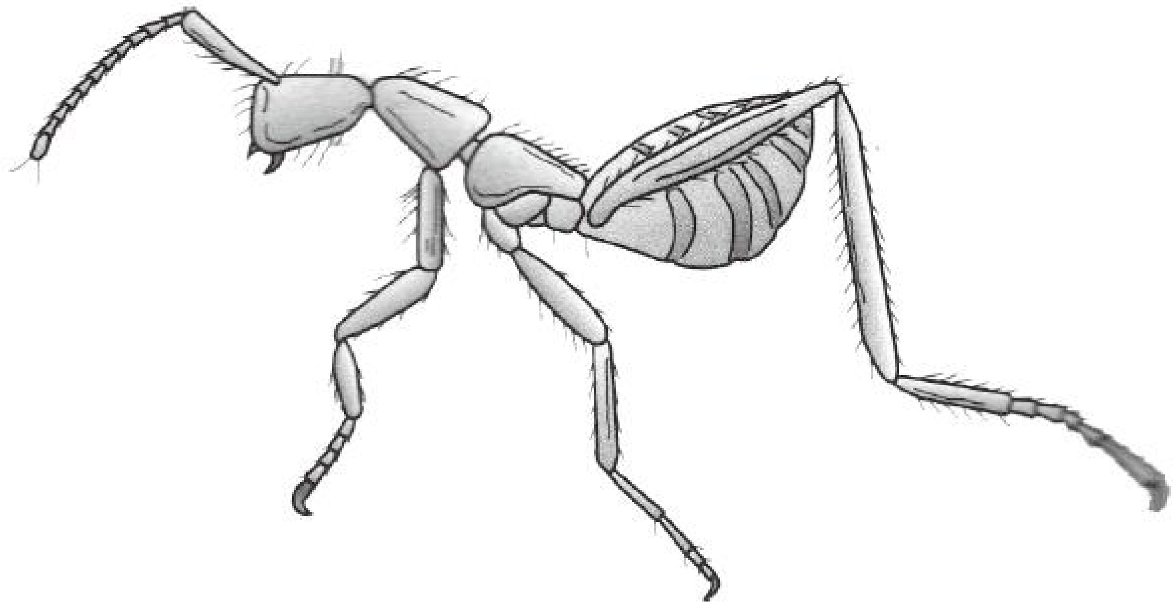


图78 伪装成蚂蚁的甲虫

1. 注定成为蚁后的幼虫，是被喂食了由“护工蚁”头部唾液腺所分泌的灵药。这是非常重要的，是环境（而非基因）导致了蚁后和工蚁之间的区别。我已经在《自私的基因》一书中以一定篇幅解释了其原因。

失去眼睛

正如蚂蚁和它们的“地下同路人”因在地下生活而失去了自己的翅，那些生活在无光的黑暗洞穴深处、种类繁多的动物，也简化或失去了眼睛，并且就像达尔文自己所指出的，它们或多或少地完全失明了。“穴居动物”㊟这个词，适用于只生活在洞穴最黑暗之处的动物，这种动物已非常特化，无法在其他任何地方存活。穴居动物包括某些蝾螈、鱼、虾、龙虾、千足虫、蜘蛛、蟋蟀和许多其他的动物。它们通常是白色的，其体表失去了所有的颜色，并且眼盲。然而，它们通常仍留有眼睛的痕迹——这即是我在这里提到它们的原因。退化的眼睛就是进化的证据。洞螈由于生活在永久的黑暗之中，所以它们不会用到眼睛，那么为什么一个神圣的造物主还会给其安上假眼睛呢，而且它明明和眼睛同源却没有眼睛的功能？

站在进化论者的角度，他们需要对不再被使用的眼睛从其原所在之处消失而作出解释。有人可能会说，即便你不打算再使用它们，为什么不简单地留住你的眼睛呢？它们说不定会在未来的某个时候派上用场呢？为什么非要“自寻烦恼”地摆脱它们？顺便提一下，请注意，要我避免“意图”、“目的”和“拟人化”的表达是十分困难的。严格地说，我不应该使用“自寻烦恼”这样的字眼，不是吗？我本应该像这样说：“失去眼睛的洞螈与其竞争对手（保留一对完好的眼睛却从不加以使用的蝾螈）相比，前者如何因其失去眼睛而获益，从而会具有更强的生存和繁殖能力？”

当然，几乎可以肯定，眼睛不是“免费”的。姑且不论制造一只眼睛所需的具有争议性的“适度经济成本”，单单对于一个湿润的眼窝来说，它不得不对外界开放，以适应有着透明表面、能转动的眼

球，但这可能会导致眼窝易受感染。所以，洞螈将眼睛封闭在坚硬的身体肌肤下面，或许这就使得它比留有眼睛的竞争对手能够更好地生存。

但还有另一种方式可以回答这个问题，并且有教益的是，不用“优势”这种词语，更不用“目的”或“拟人化”这样的表达。当我们一谈论起自然选择之时，就想到所谓罕见的、有益的突变会出现，并得到自然选择的青睐。但是，大多数突变都是不利的，只因为它们是随机的，而且向坏方向变化的方式比向好方向变化的方式更多[注]。自然选择立刻就会惩罚“有害”突变。拥有这种突变的动物个体很可能会死亡，而不太可能得到繁殖的机会，于是这会导致基因库中的此类基因突变自动被删除。每一个动物和植物的基因组，都会受到有害突变的不断轰击：一种如冰雹风暴降临般的猛烈冲击。这有点儿像月球表面——由于连续不断的陨石轰击，陨石坑越来越多。除了极少数的例外，每当一个与眼睛有关的基因被突变击中时，眼睛就会丧失一些功能，降低一些视物能力，偏离“眼睛”的资格远一些。而对于生活在光照下和要使用视觉的动物来说，这种有害突变（大多数）都会迅速地被自然选择剔出基因库。

但在完全黑暗的环境里，轰击眼睛基因的有害突变不会受到惩罚。于是，视力便不可能再有了。一只洞螈的眼睛就像月球表面——布满了由突变造成的、永远不会被抹去的“陨石坑”。而生活在日光下的蝾螈，其眼睛则像地球表面——与洞螈的眼睛一样，也被“突变”以相同的速率“撞击”，但经由自然选择（侵蚀过程），每个有害突变（陨石坑）逐渐被清除。当然，关于穴居动物的“眼睛的故事”并不仅仅是负面的，也有正向的选择——对于视力已然恶化的洞穴蝾螈，自然选择支持保护性的皮肤覆盖在其脆弱眼窝之上而生长。

历史遗迹中最有趣的，是那些为某些目的服务的器官（已经失去了它们原来作用的退化器官），但看来设计得很糟糕。最好的脊椎动

物的眼睛（鹰或人的眼睛）是一台极其精密的仪器，具有高分辨的功能，能够与蔡司（Zeiss）、尼康（Nikon）中最好的照相设备相媲美（图79）。若非如此，蔡司和尼康为我们的眼睛生产高清晰度的图像，就是在浪费时间了。另一方面，对于“眼睛”，19世纪的德国大科学家赫尔曼·冯·亥姆霍兹（Hermann von Helmholtz，你可以说他是物理学家，但他对生物学和心理学的贡献更大）曾表示：“如果一个光学仪器商想要卖给我一台具有这样各种瑕疵的仪器，我认为自己有理由以最强烈的措辞来指责他的粗心大意，并退回他的仪器。”那么，为什么“眼睛”似乎还不错，好于（物理学家）亥姆霍兹的判断呢？原因之一，是由于大脑完成了不起的后续图像清洁工作——就像一个超精密的自动图像处理软件。至于感光方面，仅在我们阅读时所用的视网膜中央的部分，即人眼的小窝处，可以达到蔡司或尼康照相机的感光水平。当我们“扫描”一个场景时，我们移动“视网膜的中央小窝”扫描场景中不同部分，将每一部分的极致细节和精确度都看清楚，而大脑里的“图像处理软件”愚弄了我们，让我们以为自己所看到的整个场景都具有一模一样的精度。一台最优质的蔡司或尼康照相机，确实能使整个画面达到几乎同等的清晰度。

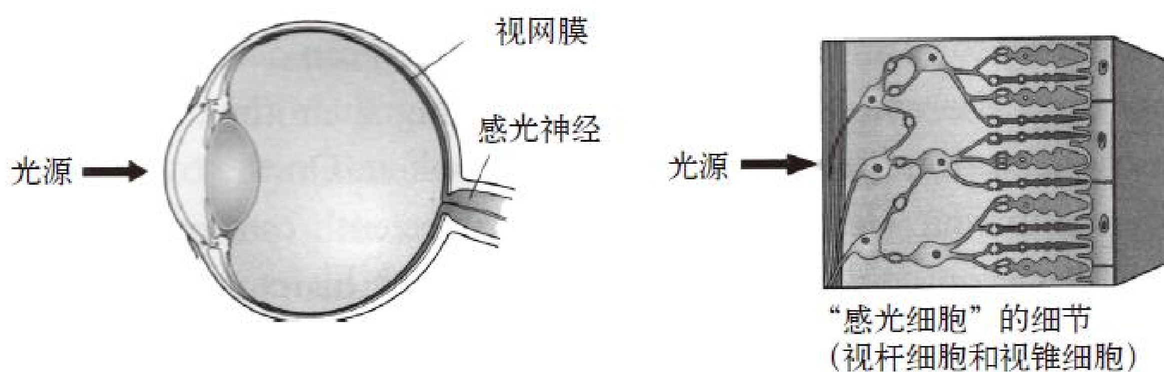


图79 人类的眼睛（左），“感光细胞”的细节（右）

所以，眼睛在光学方面所欠缺的地方，已由大脑先进的图像模拟软件进行了弥补。但我还没有提到其中最明显的“光学缺陷”的例子，即视网膜是背向前方的。

想象一下，一位工程师向“当代的亥姆霍兹”提供一台数码相机，其屏幕是由微小的“光电管”组成的，该相机能够捕捉图像并直接投射到屏幕表面。这很讲得通，显然每根光电管后面，都有导线连接到一个有某种计算能力的设备，在那里进行图像校对。这就更讲得通了。亥姆霍兹不会退货了。

但现在，假如我告诉你，眼睛的“光电管”（感光细胞）是向后指的，指向背离我们所看的景象。连接感光细胞与大脑的“电线”，遍布于视网膜表面，所以，在光线传递到感光细胞之前，它们不得不穿过纠结的“电线地毯”。这显得很不合理——而后面的结果还要更糟。感光细胞向后指的后果之一，就是携带光线信息的“电线”，不得不设法穿过视网膜再向后入脑。在脊椎动物的眼睛里，“电线”都汇聚到视网膜上的一个特定的“孔洞”中，从这里钻过视网膜。这个填满了神经的“洞”被称为“盲点”，因为它是没有感光细胞的，但称它为“点”，有点太小看它了，因为这个“点”其实相当大，它更像是盲人的眼罩，实际上，因为大脑里有“图像自动处理”软件，所以这个设计也没有令我们非常不方便。不过，还是得退货——这不只是个糟糕的设计，而且是一个百分百的白痴设计。

是这样吗？若如此，眼睛的视物功能将会很糟糕，而真实情况并非如此。眼睛的视物功能实际上是非常好的。这个“好”，要归功于自然选择，它就像一个一丝不苟的修理工那样，在视网膜初始的大型安装错误之后大力工作，最终将它修复成一台高品质的精密仪器。这让我想起关于哈勃太空望远镜（Hubble Space Telescope）的传奇。你还记得，当哈勃望远镜在1990年启用时，它被发现具有重大缺陷。由于在校准设备中有一个未被发现的故障，主镜打磨和抛光时，发生了变形，虽然变形很轻微，但后果很严重。望远镜是被发射进入轨道后，才发现有缺陷的。在那次大胆且足智多谋的行动中，宇航员被派遣去修复望远镜，并且他们成功地通过“给它戴了一副眼镜”而解决了问题。此后，望远镜工作得非常出色，并经受了3次维修使其得以进

一步完善。我提及哈勃望远镜是为了指出：一个重大的设计缺陷（甚至是灾难性的失误）可以通过随后的修补得到纠正，在适当的条件下，初始错误可以被复杂而精巧的修补工艺完美地弥补。一般在进化过程中，即使“主要突变”使生物体向着大体正确的方向改进，基本还是需要后续的大量修修补补——因为它们要使初始大突变留下的粗糙边缘，于是众多的小突变对此展开“清理行动”，并最终得到了自然选择的青睐。这就是为什么尽管最初的设计存在粗陋的缺陷，人类和鹰的视力还是如此出色。亥姆霍兹再次说道：

> 眼睛，它具有我们能够在一台光学仪器上可能发现的每一个缺陷，甚至有些缺陷是眼睛所特有的；但这些缺陷相互之间抵消得太好了，以至于多亏它们的存在而很少会产生不精确的图像，在普通的光照条件下，视觉感官的精度是由视锥的大小所限定的。但是，只要我们的观察对象处于某种不同的状况中，我们就会发觉到色差、散光、盲点、静脉阴影、介质透明度不完善，和我提及过的其他所有缺陷。

1. 是的，穴居动物（troglobite）而不是穴居者（troglodyte），前者的意思不那么极端。

2. 这一点，对真正的突变影响尤其大。可以将其想象成一台精致的机器，如收音机或计算机。一个大变异等价于用脚踢，或随机地砍断一根电线并重连于别处。它也许能改善其性能，但实际上是不太可能的。另一方面，一个小的突变，相当于对某物做一个微调，比如说，一个电阻或收音机的调台钮。突变越小，改进的可能性越趋近于50%。

不智能的设计

如果真有一位设计师来设计的话，他“动用后续的修补来弥补设计上的重大缺陷”，这种工作方式是我们完全不应期待的。我们可能会预想到不幸的差错，如哈勃望远镜镜片的球面像差，但我们绝对料不到会发生像将视网膜装反这样明显的蠢行。这些大失误不是来自糟糕的设计，而是源于历史。

自从柯里（J. D. Currey）教授向我讲解后（他教我那会儿，我还是本科生），我最喜欢的一个例子就是“喉返神经”注。喉返神经是某脑神经的一个分支，这些脑神经直接源出于大脑，而不是脊髓。迷走神经（这个名字的意思是“漫游”，“迷走”的形容恰到好处）是脑神经之一，拥有多条分支，其中有两条到达心脏，另两条分别位于喉头（哺乳动物的“音响”）的两侧。在颈部的每一侧，都有一条喉神经的分支沿着一条直达线路直接入喉，这恰如设计师可能选择的路径。而另一条分支，绕了一条惊人的弯路入喉。它一直向下潜到胸部，环绕一条离心的主动脉（左侧和右侧的动脉不同，但其原理相同），然后调头回到脖子，抵达了它的目的地。

如果认为喉返神经是一项设计的产物，那么这一设计实在丢人。与“眼睛”相比，亥姆霍兹更有理由把它退货。但是，就像看待“眼睛”的问题一样，在你忘掉设计，转而思考历史的时候，就讲得通了。为此，我们需要回到当我们的祖先还是鱼的时代。鱼有一个两腔的心脏，不像我们的心脏有4个腔。鱼的心脏通过一个被称为“腹主动脉”的大中央动脉，向前泵出血液。腹主动脉通常会发出6对分支，通向两侧任一侧的6个鳃。然后，血液流过鳃，在那里它变得富含氧气。在鳃之上，血液由6对血管收集的氧气汇入另一个下行至中部的大血管

中，这个血管被称为“背主动脉”，负责供给身体的其他部位。这6对鳃上的动脉，就是脊椎动物身体“分节”设计的证据，这一点在鱼类体内比我们体内更清晰、更明显。令人称奇的是，这在人类胚胎中是非常明显的，人类胚胎的“咽弓”（图80）显然是来自祖先的鳃，通过观察它们详细的解剖结构，便可得出该结论。当然，它们没有鳃的功能，但5周大的人类胚胎可以被视为粉红色的有鳃小鱼。再一次，我不禁纳闷了，为什么鲸鱼和海豚、儒艮和海牛没有重新进化出功能性的鳃。事实上，它们像所有的哺乳动物一样在咽弓阶段，都具有能发育成鳃的胚胎“基架”，这表明发育成鳃应该不会太困难。我不知道它们为什么没有那样做，但我敢肯定，其中必有一个很好的理由，一定有人知道这个理由，或者知道如何研究它。

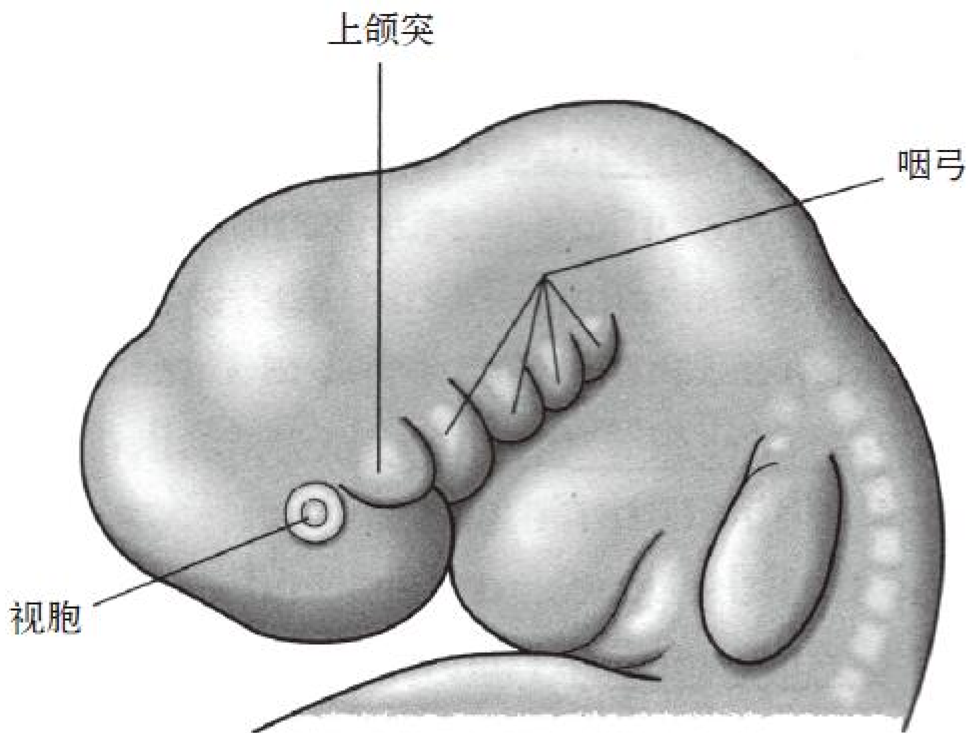


图80 人类胚胎的咽弓

所有脊椎动物，都具有“身体分节”的设计，但与胚胎的情况不同，成体哺乳动物的这种设计只有在脊髓区才是显而易见的，在这里，从前到后，椎骨和肋骨、血管、肌肉块（肌节）和神经都明显遵

循了“模块化重复”的模式。脊柱的每个节，都有两根大神经从脊髓两侧发出，称为“背根”和“腹根”。这些神经大都在其发源的椎骨附近行使职责（不管职责是什么），但是也有一些神经射散到腿部，一些神经到达手臂。

头部和颈部，也遵循同样的分节设计，但即使在鱼体内，该设计都很难辨别，这些体节本应像脊柱那样从头至尾排列得整整齐齐，可是在历经了进化岁月之后，它们都变得混乱了。辨别出头部诡异的分节痕迹，是19世纪和20世纪早期比较解剖学和胚胎学的成就之一。例如：无颌鱼类（如鳗鱼）及有颌的脊椎动物的胚胎的第一鳃弓，对应那些有颌骨的脊椎动物的颌骨（除七鳃鳗和盲鳗之外的所有现代脊椎动物的颌骨）。

就像我们在第十章所看到的那样，昆虫，以及其他节肢动物（如甲壳类）都有一个身体分节的设计。揭示昆虫的头部所包含的体节，这也是一项与上文所述相似的重大成就——昆虫头部的体节同样都混杂在一起了，它们的远祖头部的前6个体节，是一连串的模块结构，就像身体的其他部分一样。这是20世纪后期胚胎学和遗传学的一项成就，它阐明了昆虫的分节方式和脊椎动物的分节方式，根本不像我所学的那样是互不相关的，而实际上是由平行基因集合所控制的［所谓的“同源区基因群”（hox基因）］；在昆虫、脊椎动物和许多其他动物之间，可以辨识出这种基因的相似性，这些基因甚至以同样的串联顺序排列在染色体中！这一点是当我上大学的时候，我的任何一位老师做梦都想不到的，那时老师对于昆虫和脊椎动物分节方式的内容完全是分开讲授的。不同门类的动物（如昆虫和脊椎动物）之间，甚至比我们曾经认为的更加统一。而这一点，也同样是因为它们共有一个祖先。在所有两侧对称的动物的始祖那里，“同源计划”就已经勾勒出来。所有的动物都具有比我们过去所认为的还要亲密的亲缘关系。

让我们回到脊椎动物的头部：脑神经被认为是面目大改的体节神经的后裔，这些神经曾在我们的原始祖先体内构成一串背根和腹根的前端，就像那些现在仍然从我们脊柱发出的神经那样。我们胸部的主要血管曾经清楚地按体节分布，负责为鳃服务，而今成了杂乱的遗迹和残留。你可以这么说，哺乳动物的胸部打乱了的祖先鱼鳃的分节模式，正像在更早期，鱼的头部打乱了更早的祖先的分节模式。

人类胚胎也有血管供给他们的“鳃”，与鱼类的供血血管十分类似。人类胚胎的每一侧都有两条腹主动脉，带有按体节分布的主动脉弓，供给所在体侧的每个“鳃”，再连接到成对的背主动脉。这些按体节分布的血管，大多数在胚胎发育结束时已经消失，但是它们清楚地表明了“成人模式”是如何从“胚胎设计”中起源的，以及是如何从“祖先设计”中起源的。如果你观察孕后约26天的人类胚胎，你会发现，它对“鳃”的血液供应与按体节分布的对鱼鳃的血液供应十分相似。在妊娠后的几周里，血管模式按阶段简化，并失去了其原有的对称性，在婴儿出生时，其循环系统已变得严重左偏——完全不同于整齐对称、像鱼一样的早期胚胎。

我不会深入讨论“我们的大胸部动脉是6个编了号的‘鳃动脉’的幸存者”的繁琐细节。为了了解我们喉返神经的历史，我们仅仅需要知道——鱼体内的迷走神经分支供给了6个鳃中的后3个，因此，对它们来说，从合适的鳃动脉后面穿过是很自然的。这些分支，没有什么“重返”现象：它们以最直接、最合乎逻辑的路线，抵达了它们的终端器官——那些鳃。

然而，在哺乳动物的进化过程中，脖子伸长了（鱼没有脖子），鳃也消失了，其中一些鳃变成了有用的结构（例如甲状腺和甲状旁腺），其他各种零碎的组织结合起来，形成了喉。那些其他的有用的结构，包括喉的组成部分，所接受的血液供应和神经连接，正是来自那些曾几何时，以有序的序列供应鳃的血管和神经的进化了的后裔。

当哺乳动物的祖先与它们的鱼类祖先在进化道路上渐行渐远之时，神经和血管发现它们自己在向着令人费解的方向拉长并伸展，这扭曲了它们之间的相互位置关系。脊椎动物的胸部和颈部变得一团混乱，不再像鱼鳃那样是整齐对称且连续的重复。因此，喉返神经是非同寻常的扭曲变形的结果。

图81中的图片，来自1986年贝里（Berry）和哈勒姆（Hallam）编写的一部教材，表明了鲨鱼体内的喉返神经并没有“绕道而行”。而为了说明喉返神经在哺乳动物体内的“弯路”，贝里和哈勒姆选择了长颈鹿——还有比长颈鹿更显著的例子吗？

在人体中，喉返神经所采取的路线，也许最终只表现为几英寸的弯路。但在长颈鹿体内，这可不是开玩笑的事——其路线的长度超过数英尺——喉返神经在一只大型成年长颈鹿体内的弯路可能超过15英尺！2009年达尔文诞辰200周年纪念日后的第二天，在伦敦附近的皇家兽医学院，我很荣幸地花了一整天的时间，与一个由比较解剖学家和兽医病理学家组成的团队，共同解剖了一只在动物园不幸死亡的长颈鹿幼崽。这一天令人难以忘怀，对我来说几乎是梦幻般的经历。阶梯手术教室是一个名副其实的“剧场”，它有一面巨大的平面玻璃墙，将“舞台”与倾斜的座位隔开，每一次，许多兽医专业的学生都坐在座位上进行数小时的观摩。学生们一整天——这对学生来说一定是很异常的经历——都要坐在昏暗的阶梯手术教室里，透过玻璃来注视里面被灯光照亮的场景，并聆听全部佩戴着喉部微型麦克风的解剖队伍的发言，而在那时，我和电视剧组工作人员正在为将在第四频道播出的纪录片而进行拍摄。长颈鹿被置于大型、倾斜的解剖台上，其中一条腿通过吊钩和滑轮在空中高高吊起，它巨大而令人伤感的脆弱颈部在明亮的灯光下一览无遗。根据严格的规定，位于长颈鹿一侧玻璃墙后的我们，全部穿上了橙色的工作服和白色的靴子，这在某种程度上为那一天平添了梦幻色彩。

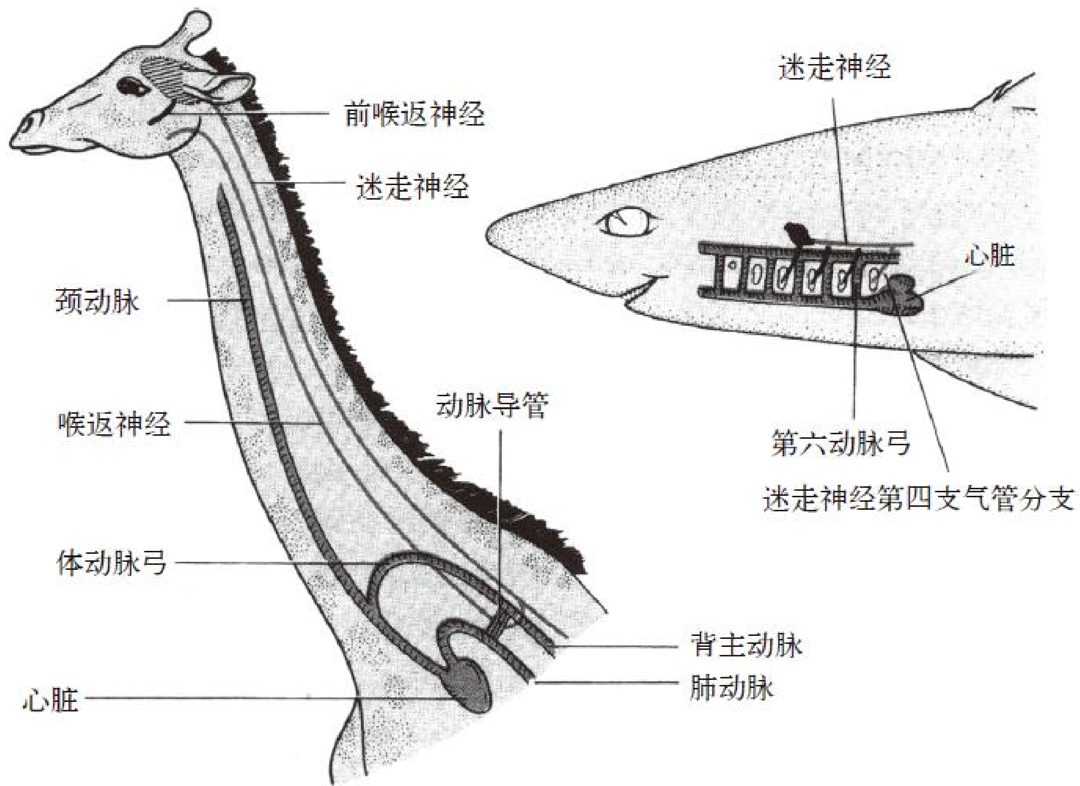


图81 长颈鹿和鲨鱼的喉返神经

关于喉返神经迂回的长度，其见证是——解剖学家团队的各个成员同时在绵延的神经上进行解剖——靠近头部的喉部、心脏附近的回路以及它们之间所有的节点——却不会妨碍到彼此的工作，也很少需要彼此进行沟通交流。他们耐心地梳理出整个喉返神经的结构：据我们所知，在维多利亚时代，大解剖学家理查德·欧文（Richard Owen）于1837年第一次完成这一艰巨的任务。这项工作十分困难，因为神经非常细，甚至于它的回路部分就像缝纫用的线一样（我以为自己早已知道了这一点，但当我亲眼见到时，它仍然让我吃了一惊），在气管周围错综复杂的薄膜和肌肉所组成的网络中，它很容易被忽视。在它的下行路线中，神经捆绑在较大的迷走神经上从喉部（其最终的目的地）几英寸处掠过而不入其门，这条神经继续下行，“走”过了整个脖子长度的距离，再调过头来，返回抵达喉部（图82）。我对格雷厄姆·米切尔（Graham Mitchell）和乔伊·雷登堡（Joy

Reidenberg）教授和其他专家所做的解剖工作，印象十分深刻；与此同时我发现这大大增加了我对理查德·欧文（达尔文的死敌）的尊重。然而，神创论者欧文未能从中得出这一明显的结论——任何一位聪明的设计师都本该拆掉喉返神经的下行部分，用数厘米的捷径取代数米的弯路。

姑且不论这么长的神经所引致的资源浪费，我不禁怀疑长颈鹿的发声是否会遭到延迟，就像一个外国通信记者通过卫星线路说话的声音那样（延迟）。一位权威人士曾表示："尽管拥有发育良好的喉部并且性情适宜群居，长颈鹿却只能发出低沉的呻吟或轻叫。"一只"口吃"的长颈鹿——这是一个可爱的想法，但我不会沉陷于此。对于这一整个关于"弯路"的故事，其精要即为——这个范例表明了远古生物远远不是被精心设计的。而对一位进化论者来说，重要的问题是为什么自然选择不像工程师那样：重新绘制设计图，并以一种合理的方式将其重新组装。这是我们在本章中反复遇到的同一问题，我试图以各种方式来回答它。根据经济学家所说的"边际成本"，可以借此来解开关于喉返神经的谜团。

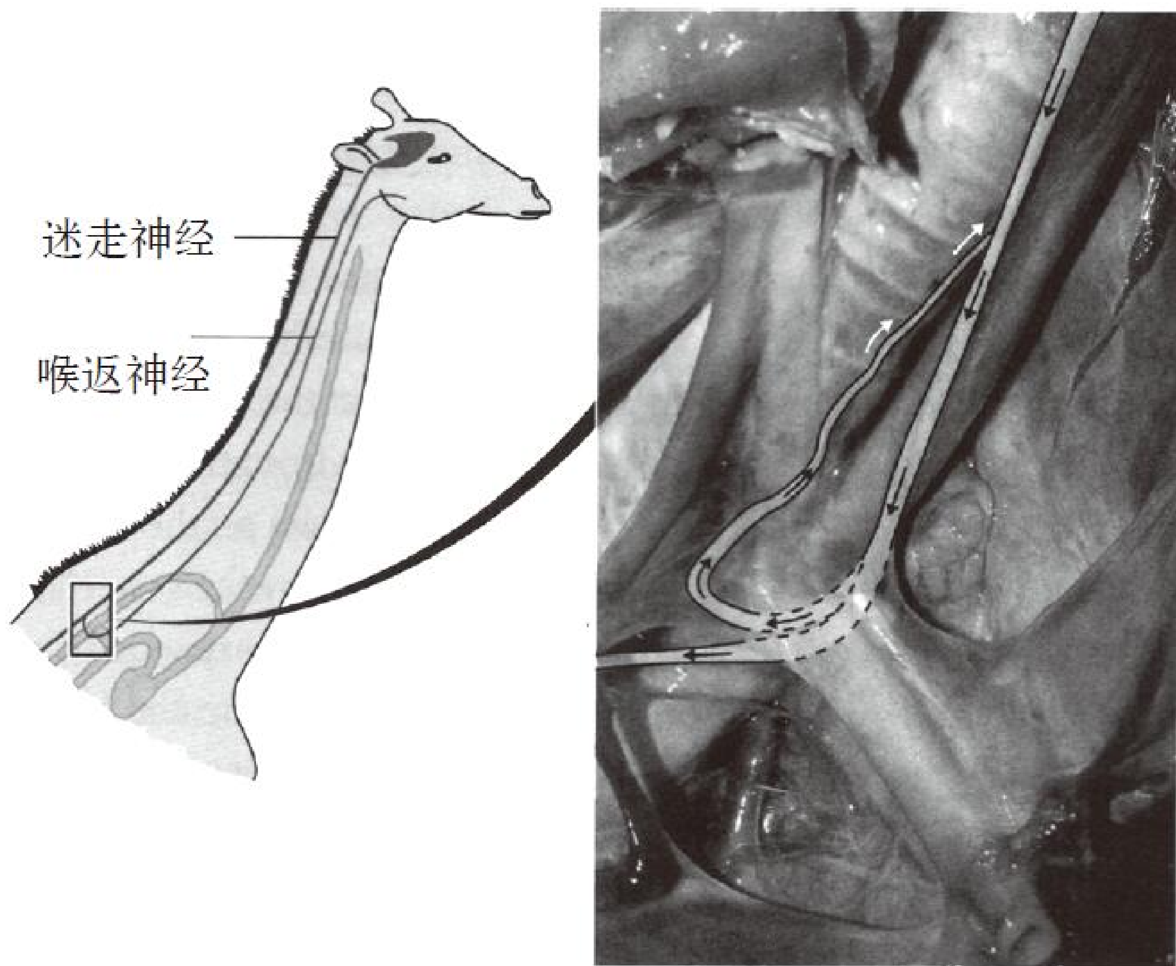


图82 长颈鹿喉返神经生成的回路

随着长颈鹿的脖子在进化过程中被慢慢加长，绕道的成本——无论是经济成本还是“口吃”的成本——都是逐步增加的（在这里我尤其要强调“逐步”）。每毫米所增加的边际成本是微小的。但随着长颈鹿的脖子逐渐增长到目前惊人的长度，弯路的总成本或许也已经达到了它的临界值——假设在这个临界值时，一个突变的个体如果能将它的下行喉返神经纤维从迷走神经束中分离出来，并使其跳跃微小的距离抵达喉部，那么这个个体将能更好地生存，但要实现这种“跳跃”，这种突变难免会导致胚胎发育过程中出现一个重大变化——甚至是剧变。很有可能这个必要的突变永远不会出现。即使出现了，它也可能具有害处——在一个敏感而微妙的过程中，任何巨变都会不可

避免地产生害处。即使截弯取直所带来的优势最终会完全超过这些害处，但是，每增加一毫米的迂回所导致的“边际成本”与现有的弯路相比是微不足道的。即使，“重回绘图板”的解决方案是一个更好的主意（如果该方案可以实现），但是与之竞争的替代方案只是对现有的弯路进行些许加长，并且这种微小的加长所需的边际成本会很小。我揣摩，微小加长的成本要小于“巨变”造出更优结果的成本。

上述所有内容都是要点之外的题外话，而要点是：任何哺乳动物体内的喉返神经，都是驳斥“设计师”理论的有力证据。在长颈鹿体内，喉返神经伸展得相当壮观！怪异的漫长“迂回”沿着长颈鹿的脖子一路向下然后又折返回来——这类事情正是我们期待从自然选择的进化中所看到的，然而我们不会对任何一位明智的设计师抱有该类期待。

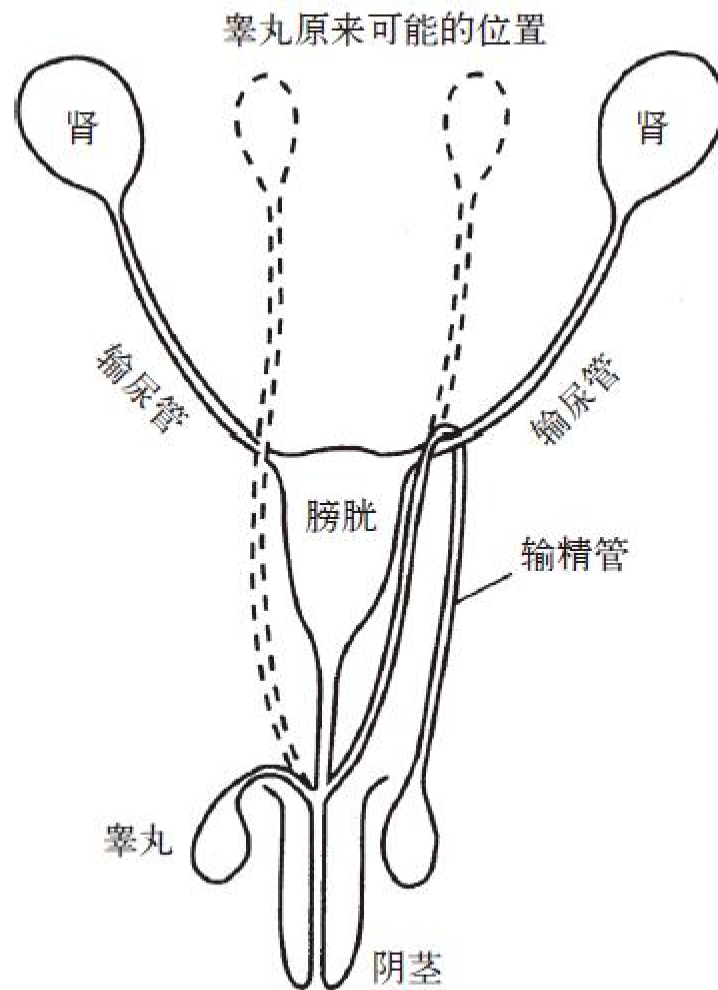


图83 从睾丸到阴茎的输精管路线

乔治·威廉姆斯（George C. Williams）是美国进化生物学家中最受尊敬的一位，他平和睿智，脸庞棱角分明，总令人想起一位最受尊敬的美国总统（他和达尔文同年同月同日生，也因平和睿智而闻名）注。威廉姆斯呼吁大家关注另一个迂回，该迂回所采取的方式与喉返神经类似，但位于身体的另一端——输精管。输精管是从睾丸往阴茎运送精子的管道。图83左侧所示是设想的最直接的运输路线。输精管实际采取的路线，则是此图右侧所示。输精管采用了一条荒谬的弯路，上行绕过输尿管（将尿液从肾脏输送到膀胱的管道）。如果这是设计而成的，那么没有人能理直气壮地否认这样一个事实，即这个

设计师犯了一个严重错误。但是正如关于“喉返神经”的问题一样，当我们着眼于进化历史时，一切都变得清楚明白了。图中虚线所示的是睾丸原来可能的位置。在哺乳动物的进化过程中，睾丸下降到了其现今所在的阴囊中的位置（原因尚未可知，但往往被认为与温度相关），于是输精管便搭到了输尿管的上方——不幸地陷入了歧途。“进化”没有像任何明智的工程师都会做的那样，重排管道，而是简简单单地继续延长了管道的长度——同样，每次因“弯路”的小小延长而增加的边际成本都很小。这又是一个关于纠正初始错误的绝佳事例，其纠正过程通过“事后补偿”而非“重回绘图板”的方式得以实现。此类例子，必然撼动了那些“智慧设计论”拥趸的理论根基。

从某种意义上来说，人体载满了那些我们称之为缺陷的东西，但从另一种意义上来说，我们是祖先从其他种类的动物演化而来的，在其漫长的历史过程中，那些缺陷是*不可避免的妥协*的产物。当无法选择“重回绘图板”时，缺陷是无法避免的，然而只需对已存的缺陷进行临时修改，便可实现对其的改进。试想一下，弗兰克·惠特尔爵士（Sir Frank Whittle）和汉斯·冯·奥海因博士（Dr Hans von Ohain）这两位具有独创性的喷气式发动机发明者，如果被迫遵守如下规则：“不允许将一张白纸置于绘图板上来开始你的设计。你必须首先制造一个螺旋桨发动机，然后再改造它，并且一次只能更换一个零件——一次一个螺丝钉，一次一个铆钉，逐渐地将*螺旋桨发动机*‘*祖先*’改造为*喷气式发动机*‘*后裔*’。”那么最后喷气式发动机将是一团乱七八糟的东西。更大的难题是，全部的中间产品都要能够飞行，并且在这一连串产品之中，其中的每个产品都至少要比上一个产品得到了一些改善。你会看到，最终造出的喷气式发动机负载着各种历史痕迹、异常和瑕疵。通过增加笨重的、补偿性的修补层，或是通过修理、拼装，总之必须在遵循“不得重新绘图”的禁令之下尽量努力，从而使上述每一项瑕疵得到处理。

上文已指明了要点，但仔细观察生物中的创新，也许可以从螺旋桨发动机与喷气式发动机的事例中得出一个不同的类比。一项重要的创新（在我们的类比中，就是指喷气式发动机），很可能不是从具有相同功能的旧器官（螺旋桨发动机）中发展而来，却很可能是从截然不同的、完全行使不同功能的器官发展而来。这里有一个很好的例子：当我们的鱼类祖先呼吸空气时，它们并没有将自己的鳃改装成肺［正如一些呼吸空气的现代鱼类所做的那样，例如攀鲈（*Anabas*）］；相反它们改装了肠道的一个小袋。而且顺便提一下，那些硬骨鱼类——这里指你常见到的除鲨鱼之类的几乎所有鱼类，它们对肺（之前在偶尔呼吸空气的祖先体内进化出来的）进行了改装，使其变成了另一个十分重要的器官——鱼鳔，它已与呼吸功能无关。

“鱼鳔”也许是硬骨鱼类取得成功的关键所在，这非常值得用一些题外话来解释一番。鱼鳔是一个内部充满气体的“囊”，可被灵敏地调整，从而使鱼在任何所需水下深度保持静态平衡。如果你在孩提时代曾经玩过“笛卡儿沉浮子”，你就会认同它的原理，硬骨鱼运用的是这一原理的一个有趣“变体”。“笛卡儿沉浮子”是一个小玩具，它起作用的部分是一个很小的倒置杯，内含一截气泡，保持平衡地浮在一瓶水里。气泡中空气分子的数量是固定的，但可以按下瓶上的软木塞以减少体积（根据波义耳定律，压力增大[注]）。或者你也可以提起软木塞以增加空气的体积（减小气泡的压力）。使用苹果酒瓶上的那些粗壮的螺旋瓶塞，你就可以看到最好的效果。当你按下或提起瓶塞，沉浮子就会下潜或上浮，直至达到静力平衡的新位点。你可以通过灵敏地调整瓶塞（从而调整压力），来控制沉浮子下潜或上浮。

鱼和“笛卡儿沉浮子”之间有一点儿微妙的差异。鳔相当于鱼的“气泡”，它以同样的方式发挥作用，只是囊状物中气体分子的数量不是固定的。当鱼在水中想要上浮到更高处，它就会从血液中释放气体分子进入囊状物，从而使其体积增大。当它想下潜到更深处时，它

就会将囊状物中的气体分子吸收到血液中去，从而减小囊状物的体积。有了鳔，意味着鱼可以不靠肌肉活动而保持在一个理想深度（鲨鱼则要靠肌肉活动）。它在自己选择的任何深度，都能保持静态平衡。鳔起到了维持静态平衡的作用，从而解放了肌肉，使之可以被用于积极地向前游动。而与之相反，鲨鱼必须时刻保持游动状态，否则就会沉底。当然，鲨鱼下沉得很缓慢，那是因为在它们的组织里，具有特殊的低密度物质来保持它们适度的浮力。那么，鱼鳔就是一种“被借用”的肺，而肺是一种“被借用”的肠袋（而不是你可能曾经期望的“被借用”的鳃室）。此外，在一些鱼的体内，鳔本身还可进一步“被借用”为听觉器官，从而成为耳膜的一种。历史写满了其整个身体，不是一遍即止，而是曾反复抄写——这是一部内容繁复的重写本。

我们作为陆地动物已有约4亿年的历史，而我们用自己后肢走路的时间，却大约只占4亿年中最后的1％。我们在陆地上99％的时间段里，都拥有差不多水平位的脊柱，并且用4条腿走路。我们不知道第一个用后肢直立行走的个体累积了多少选择优势，而我也不打算谈论这件事。就此问题，乔纳森·金登（Jonathan Kingdon）已写了一整本书《出身低微》（*Lowly Origin*），并且我在《祖先的故事》里也提到了这个问题的一些细节。此事发生时，似乎不是一个重大改变，因为其他灵长类动物时常都是这样做的，如黑猩猩、一些猴子和迷人的狐猴［韦罗的马达加斯加狐猴（Verreaux’s sifaka）］。然而，像我们一样，习惯性地只用两条腿走路，对身体各部都会产生深远影响和后果——需要进行大量补偿性调整。随着步态发生重大的转变，为了在细节上达到协调一致，恐怕身体上任何部位的骨骼或肌肉没有一块能够避免，都要发生改变，不管这些部分是多么的隐蔽无名、很不相干或者间接、牵强。对于类似的全面重组——从水中到陆地上，从陆地上到水中，到空中，到地下，生物一定会致力于在生活方式的各个方面都做出重大改变。你不能将体内明显的变化分离出来，然后孤立地对待它们。若要说“每一个变化都有其后果”，这是在轻描淡

写。事实上，存在着数以百计、数以千计的后果，此外还有后果的后果。自然选择一直在不停地进行着微调、修剪，以及伟大的法国分子生物学家弗朗索瓦·雅各布（Francois Jacob）所说的——“铸补”（tinkering）工作。

在这里，还可以用另一个很好的视角来看待此类问题。当气候发生某种重大转变之时——例如冰河时代，你会自然而然地期望自然选择对动物作出相应调整，例如，长出更厚的皮毛。但是，外部的气候，并不是我们应加以考虑的唯一“气候”。如果在外部环境没有发生任何改变的条件下，产生了一个重大的新型突变，并且它还受到了自然选择的青睐，那么基因组中所有其他基因都会感受到这一内部“基因气候”的改变。正如环境气候发生改变那样，生物也需对这一改变作出适应。自然选择不得不紧随其后，因应“基因气候”中的一个重大改变而进行调整，从而作出弥补，就像外部环境发生改变时，它会产生的调整一样。甚至从“四足步态”到“两足步态”的最初转变，大概也是“内部”产生的，而不是由外部环境转变引起的。无论哪种方式，都启动了具有重大后果的复杂的级联反应，而每一步都需要作出补偿性调整。

“不智能的设计”本应是本章的一个很好的标题。事实上，它也适合作为一本关于“生命缺陷彰显生物缺乏深思熟虑的设计”的书的标题——已有不止一位作者都独立地掌握了这一点。在这些书中，因为我偏爱澳大利亚英语中强烈的不敬语气（“那么，智能设计从何而来，就好像屁股上生痔疮一样吗？”），所以我将注意力集中于悉尼科普工作者中的老前辈罗宾·威廉姆斯（Robyn Williams）所著的一本令人开怀的书。在书中，他就像一个十足的“怨妇”，抱怨自己的后背在每天早晨都给他带来疼痛（不要误会我的意思，我对他的疼痛表示深切同情），接着，威廉姆斯说道：“基本上所有的后背，都会在其保修期内，要求设计者立即作出赔偿——如果真的可以索赔的话。如果是上帝负责背部的设计，你不得不承认，上帝一定不是在他

最好的工作状态下设计背部的，他一定是在第六日即将结束之时，匆匆忙忙地进行了最后的赶工。”其中的问题其实在于：我们的祖先将脊柱大致地保持在水平状态，爬行了数百万年，对于最近百万年中突如其来的重新调整，脊柱是不乐于接受的。再次强调，一位真正的设计师，若要设计直立行走的灵长类，就该重新回到绘图板，从而正确地完成他的工作，而不是以一个四足动物作为起始，对其进行笨拙的修补。

威廉姆斯接着又提到了澳大利亚的标志性动物——考拉，它们的“袋”是下开口，而不像袋鼠那样是上开口，对于一种紧抱树干消磨时间的动物来说，这并不是一个好主意。此事仍是历史遗留问题——考拉是从长得像袋熊的祖先那里演化而来的，而袋熊是挖土冠军。

> 它的大爪向后抛丢土壤，就像挖掘机挖隧道一样。如果这个祖先的育儿袋是向前开口的，那么其幼崽的眼睛和牙齿里将会永远充满沙砾，所以它的育儿袋是向后开口的。然而有一天，这个生物爬上了一棵树——也许是为了找到新鲜的食物来源，与之随行的是这件“设计产品”——太复杂而无法做出改变了。

与喉返神经类似，在理论上，考拉有可能在胚胎发育中改变其育儿袋的开口方向。但是，我猜测——重大改变所带给胚胎的剧变，会致使中间型远远不如能积极应对现今情势的考拉。

我们自己从四足动物变成了两足动物，其中的结果之一还涉及了鼻窦，它给我们之中的许多人都带来了痛楚（包括正在写作的笔者），因为鼻窦这一“排水孔”的位置被完全放错了，明智设计师绝不会这样做。威廉姆斯援引一位来自澳大利亚的同行——德里克·丹顿（Derek Denton）教授的论述[注]：“上颌窦或上颌窦腔位于面部两侧脸颊的后面。‘排水孔’被安置在上颌窦的顶部，这对于利用重力协助引流来说，可算不上是一个好主意。”然而四足动物的“顶部”

完全不是身体的顶部，而是身体的前端，这就使“排水孔”的位置显得合理多了：这又是遍布于我们全身的历史遗迹之一。

威廉姆斯接着引述另外一位澳大利亚同行的表述，这个人因其一句绝妙佳言而享誉全国，他说姬蜂的设计师“必定是一个虐待狂”（如果真有这么一位设计师的话）。尽管达尔文访问澳大利亚时还是个年轻小伙，他却用比较稳重和委婉的语气表述了同样的情绪：“我无法说服自己，一位慈悲、万能的神，会特意创造出用毛毛虫的活体来喂养自己幼虫的姬蜂科生物。”姬蜂科生物恶名昭彰的残忍（泥蜂和狼蛛黄蜂也有类似习性）将作为一个主旨内容在本书的最后两章继续呈现。

我发现自己很难清楚地表述我接下来要说的，但是这些内容我思考已久，并且，终于在那个难忘的“长颈鹿解剖日”达到了成熟。当我们观察动物的外表时，我们会不可抗拒地被“设计”的优雅假象所感动。一头正在咀嚼食物的长颈鹿、一只翱翔于天际的信天翁、一只潜水的褐雨燕、一只俯冲的猎鹰、一条隐藏于海藻之间的叶状海龙、一头在转弯后全力疾驰的猎豹、一头跃向空中的瞪羚——这些“设计”的假象使人们产生了大量的直观感觉，以至于人们要付出积极的努力，才能投入批判性思维，克服天真直觉的诱惑。我们观察动物的外表，就是这种情景。但是，当我们查看其内部时，给人的印象却截然相反。诚然，教科书中简化的图画传递出来优雅设计的深刻印象，这些图画排列整齐并用色彩标记，就像一位工程师的蓝图。但当你看到在解剖桌上剖开的动物时，其现实的冲击是非常不一样的。我觉得若让工程师据此绘制一个改良版的图纸——例如从心脏发出的动脉，这将会是一个有益的练习。对此，我想象中的结果应是类似汽车排气管般，整齐、线性、有序排列的管道，而不是当打开真实的胸腔之时，我们实际看到的杂乱无章。

我花了一整天时间来观看解剖学家们解剖长颈鹿，是为了研究可以作为进化缺陷之范例的喉返神经。但我很快意识到，喉返神经只是这类缺陷的“冰山一角”。事实就是有一股奇异的力量驱使喉返神经绕了一个大弯路，才达到它的目的地。这就是最终会促使亥姆霍兹把它退货的原因。但是，在你考察任何一个大型动物的内部结构时，你都会得到一个不可磨灭的印象，那就是——它是一团混乱！一位设计师，永远不会作出像绕行神经那样的错误设计；一个像样的设计师，也绝不会导致任何像下面这样的混乱局面——动脉、静脉、神经、肠、大量的脂肪和肌肉、肠系膜以及更多结构之间的纵横交错。引用美国生物学家科林·皮登卓伊（Colin Pittendrigh）的话来说，这整个事情，不过是“当命运敲门之际，从可利用的物件中，出产了临时拼凑起来的混杂物，并且被自然选择以后见之明（而不是先见之明）所接纳”。

---

1. 它也是我的同事杰里·柯因的最爱。在《为什么要相信达尔文》一书中，给出了关于这个例子的精彩详尽的讨论，我建议他将之转载到他的其他优秀著作中。

2. 指亚伯拉罕·林肯。与达尔文一样，出生于1809年2月12日。——编者注。

3. Boyle’s Law，波义耳定律指出，定量的气体在温度确定的情况下，压力与体积成反比。自从学校中一位叫布尼（Bunjy）的科学大师给我们4B1班上了一节单独的课后，我永远都不会忘记波义耳定律了。他是给我们平时的物理老师布夫蒂（Bufty）代课的，而我们则错误地以为，因为布尼年龄非常大（我们自以为是地认为）和高度近视（从他读书时把书紧贴着鼻子的习惯，可以明显观察出这一点），我们可以不理会他的纪律并戏弄他。我们犯了多大的错误啊！那天下午，他让我们中的绝大多数人留下，然后上了一堂额外的“拘留课”，让我们在自己笔记本的开篇一页上写道：“本节课的主题：教4B1班礼貌和波义耳定律。”

4. 不要将其与另一名澳大利亚人迈克尔·丹顿（Michael Denton）混淆，推崇他的创世论者有意忽略了这一事实——在他的第二本书《大自然的命运》（*Nature’s Destiny*）里，他公开宣布放弃他早期反对进化的立场，但仍保留其有神论。

第十二章 军备竞赛和“进化的神义论”

眼睛和神经、输精管、鼻窦和背部，从个体福利的角度来看，都是设计不当；但是，在进化的启示下，这种不完善则是完全合理的。这同样适用于更大的自然界经济。我们可以预料，一位聪明的创造者，规划设计的应该不只是个别动物和植物的身体，而应该规划设计整个物种和整个生态系统。我们本可以期望，自然应该是一个计划经济，精心设计，以杜绝铺张浪费。然而，现实却不是这样的！本章将说明这种情况。

太阳能经济

大自然经济是太阳能所驱动的经济。光子随着如雨的太阳光，落到整个行星的处于白天的表面。许多光子所做的，只不过是加热一块岩石或沙滩。少量的光子落到了眼睛里——可能是你的眼睛、我的眼睛，或一只对虾的复眼，或某个扇贝的抛物面反射器眼。有些可能恰好落到一个太阳能板上——有可能是人造的太阳能板（就像在绿色环保的狂热中，我在我家屋顶上安装的太阳能热水器），也有可能落在一片绿叶上（这是大自然的太阳能面板）。植物利用太阳能驱动“上山型”（uphill）的化学合成，生产有机燃料，主要是糖类。“上山”是指糖的合成需要能量来驱动，同样，糖也可以在以后的一个“下山型”（downhill）反应中被“烧掉”——释放（一小部分）能量，再次做有益的工作，例如肌肉的动作，或构建一个大树干的工作。“下山型”反应就好比“水流从高位水箱流下，推动水轮做有用的功”，而“上山型”反应就好比是“用能量把水泵到高处的水箱，从而可以在以后重新流下时，被用来驱动水轮”。在能源经济的每一个阶段，无论是上山或下山，都会损失一些能量——从来没有能源交换是完全有效、完全不浪费的。这就是为什么专利局甚至根本不需要看永动机的设计——没有商量，（永动机）是永远不可能的。你不能用水下落产生的水车能量，把等量的水再泵上坡，让它再次推动水车。始终必须有一些外来能量前来弥补流失的能量——这就是太阳发挥作用的地方。我将在第十三章，再次返回这一重要主题。

地球的陆地表面大多覆有绿叶，构成了一个多层的捕捉光子的捕集器。如果一个光子没有被一片叶子捕到，它很有可能被下面的另一片叶子捕到。在厚密的森林里，是没有多少光子能够不被捕捉而到达

地面的；这正是为什么走进成熟的森林我们总是会看到一个黑暗的所在。我们的行星得到的阳光配额中，大多数的光子都打到了水上。而海水的表面层，充满了单细胞的绿色植物来抓捕这些光子。不管是在海中，还是在陆地上，这种捕获光子用于驱动上山型耗能的化学反应，产生易于储存能量的分子（如糖和淀粉）的过程，叫作光合作用。这种反应是在10亿多年前，由细菌发明出来的；而绿细菌仍然在从事大部分的光合作用。我之所以这样说，是因为叶绿体（小小的绿色光合作用的引擎，是所有叶子中“光合作用业务”的实际执行者）它们本身，就是绿细菌的直接后裔。事实上，即使在植物内，它们仍然在按照细菌的方式，自动地繁殖自己。我们可以恰当地说，它们仍然是细菌，只是已经重度地依赖庇护它们的叶子了，并且它们给叶子着上了绿色。看来，原本自由生活的绿细菌，被劫持进了植物细胞，在这里它们最终演化成了我们目前所说的“叶绿体”的这种东西。

这里有一个整齐对称的事实，正像“上山型生化反应”大多是由在植物细胞内繁盛的绿细菌所执行的，在动植物细胞中，糖类和其他燃料缓慢燃烧释放能量这种“下山型的代谢化学反应”也是由另一类有专长的细菌执行的。它们也曾经一度过着自由生活，现在则在较大的细胞质中繁衍生存了，它们在这里被称为“线粒体”。从不同种类的细菌传衍变成的线粒体和叶绿体，早在数十亿年前任何肉眼可见的生物体还不存在的时候，就已经建立了它们互补的化学绝技。后来它们皆因其化学技能而被绑架入彀[注]，今天，它们在我们可见可触的、更大更复杂的生物细胞的液体内部进行繁殖——它们就是植物细胞中的叶绿体、植物和动物细胞中的线粒体。

植物中叶绿体捕获的太阳能，处于复杂食物链的基部；在食物链中，能源从植物传递给食草动物（可能是昆虫），然后传递给食肉动物（可能是昆虫或食虫动物以及狼和豹），再通过食腐者（如秃鹫和屎壳郎），最终抵达分解者（如真菌和细菌）。这些食物链的每一个阶段，都有一些能源作为热量浪费掉了，只有部分能量被用于驱动生

物过程（如肌肉收缩）。自从从太阳那里得到初始能量的输出之后，就没有新的能量增加进来。除了一些有趣的小小例外（如深海“烟囱”附近的居民，其能量来自火山活动），推动生命的所有能量，都最终来自（被植物捕获的）太阳光。

请看一棵在开放地带傲然挺立的高大树木。它为什么这么高？不是为了更接近太阳！它高大的树干即使缩短到树冠张开铺在地面上，也不会造成光子的损失，反而会节省巨大的成本。那么，为什么要花费这么大的成本，顶着树冠、向天高长呢？这个问题真是费解——直到我们意识到，这种树的自然栖息地是森林。树木长得高大，是为了盖住竞争对手（其他树木）——包括同种的树木和其他物种的树木。当你在一个开放地域或花园看到一棵树，其有绿叶的树枝一路延伸直到地上，请不要被误导。它以这样完美的体形，令一位军事教官欣喜，是因为它生在一个开放地域或花园。[注]你应该去它的“自然栖息地”观察它，那里是一片茂密的森林。一棵树木的“自然形状”是树干高挑和赤裸无枝的，其最顶部附近的树枝和叶（树冠）承受着光子雨的洗礼。而现在，这里有一个奇思妙想——如果森林中的树木能够达成一些协议，该多好啊！就像一个“商会”，出台某些限制性做法——比如说，长得不许超过10英尺高，这样，每棵树都将受益。整个群落——整个生态系统，都能因此而节省木材和能量，不必用于去生成那些高耸而昂贵的树干。

众所周知，要达成这种互相制约的协议，是非常困难的；我们人类有（潜在的）布设远见这种天赋，但在人类事务中，达成这类协议仍然很困难。一个熟悉的例子是：在观看比赛（如赛马）时，达成一项“大家都坐着看，禁止站立的协议”。如果大家都坐着，身材高大的人仍然会比矮个子有更好的视野，就像每个人都站着看的时候是一样的；但坐着看有一个优点——每个人都比较舒适。然而，当高个子后面坐着的是一位矮个子观众时，为了更好地观看，矮个子观众站了起来，问题就开始了。矮个子后面的人，为了能够看到一些（而不是

两眼一抹黑、完全被挡住），也立即站了起来。站立的浪潮席卷了整个观众席，直到每一个人都站了起来。最后，和坐着看比赛相比，每个人的体验都变糟了。

在一个典型的成熟森林，树冠可以被认为是空中的草原，就好像绿浪滚动的草甸——但是每一丛草甸都踩着高跷。树冠收集太阳能的速率和草原草甸收集太阳能的速率大致相同。然而，却有相当部分的能量被浪费掉——被用于直接生成树干。树干除了把草甸抬高到空中之外，并无其他用途。而如果树冠就铺在地上的话，也能收获到完全等量的光子，且成本要低得多。

上面的这一场景，引导我们直面“设计的经济体”和“进化的经济体”之间的差异。在一个“设计的经济体”中，将没有树木，起码肯定没有非常高大的树木：没有森林，没有树冠。树木是一种浪费。树木是一种奢侈。树干是徒劳竞争的站立的纪念碑——如果我们以“计划经济体”的思维进行思考，树干就是徒劳无益的。然而，自然界经济并不是计划的。植株个体与其他植株竞争，和同一物种及其他物种的个体竞争，其结果是，它们越长越高，远远超过了任何规划师的建议。然而，也不能无限制地高。它们终于会长到一个高度点，在这个点继续长高1英寸的话，虽然会带来一项竞争优势，但是这样长花费太多了，其结果是个别这么长的树（要比没这么长的树）境况更糟了。“树木被迫长到的高度”其最终决定因素是树木个体的成本和收益，而不是一位可为“树木群体”做计算的理性规划师。当然，在不同的森林中，达到平衡的高度也不相同。太平洋海岸红杉森林的高度可能一直是世界之最（一生中一定要去看一看它们）。

请想象一座“假想的森林”的命运——我们称之为“友谊森林”。在这座森林中，通过一些神秘协约，（不知怎么地）所有的树木都设法实现整个树冠降低到10英尺的理想目标。树冠看起来就像任何其他森林中的树冠一样，但它只有10英尺高，而不是100英尺高。从

计划经济的角度来看，“友谊森林”要比我们所熟悉的高大森林更有效率，因为其资源不消耗在同其他树木的竞争上、不用于营建高大的树干。

但现在，假设在“友谊森林”中出现了一棵突变的树。这棵“无赖树”生长得稍微高于“大家协商一致的10英尺标准”。这种突变，立即保证了它具有竞争优势。无可否认，这要付出成本（额外的树干长度）。但这实在是很划算——只要所有其他树木服从“自我克制”条例，则略高的树所“多收入的光子”在支付了延长树干的额外成本之后，还能赚不少。于是，自然选择将青睐于打破“自制条例”而稍微长高一点儿这种遗传倾向（比如说长到11英尺）。随着一代又一代的树成长起来，越来越多的树木打破了限高的规定。直到有一天，所有的林中树木都有了11英尺高，不过它们的情况比以前糟了——因为它们都要比以前多付出额外的增长成本（额外的1英尺），虽然经历了这么多麻烦，却并没有得到任何额外的光子。而现在，自然选择将有利于有进一步长高趋势的突变体，比如说长到12英尺的突变体。这样一来，树木越来越高。这样徒劳地朝着太阳的攀登，何时是个尽头？为什么树不长到1英里高？为什么没有“杰克的豆茎”注？树干的长高，是有限制的——就是只能长到“继续长高所挣到的额外光子，不足以支付超高的代价”这种高度。

我们通篇都在谈论个体的成本和收益。如果整个“森林经济体”是考虑其整体利益而被设计出来的，森林就会显得很不同（于我们现实的所见）。事实上，我们所看到的森林，其中的每一个树种的进化，都来自自然选择有利于超过了竞争对手的树木个体，无论是超过了本种的树还是另一物种的树。有关树木的一切观点，都契合于“它们不是设计出来的”——除非，你认为它们被设计出来是为了向我们人类提供木材，或取悦我们的眼睛，或者让我们的相机惊艳于新英格兰的秋天。不过，相信这些的人，史不绝书；因此，让我们看一个类

似的情况——猎手与猎物之间的军备竞赛（很难宣称这是为了人类的利益）。

---

1. 唐太宗在一次科举考试结束后，站在午门城楼上看着新进的进士们鱼贯进入朝堂，高兴地对左右说“天下英雄尽入吾彀中”。——译者注
2. 在军队里，我们有三种树木：杉树、杨树和丛顶。
3. “杰克的豆茎”（Jack’s beanstalk），著名的童话，故事中的豆苗一直长上了天空。——编者注

奔跑，以停留在原处

哺乳动物中，奔跑最快的前5名是：猎豹、叉角羚（在美国通常被称为“羚羊”，虽然它和“真正的”非洲羚羊并不近缘）、牛羚（或角马，这是一种真正的羚羊，虽然和其他羚羊差别较大）、狮子和汤姆逊羚羊（另一种真正的羚羊，看起来确实像一只标准羚羊，只是个头较小）。请注意，这些名列前茅的运动员中既有猎物也有猎手——我的观点是，这并非偶然。

据说，猎豹能够在3秒内从0加速到60英里每小时，绝对超过一辆法拉利、保时捷或特斯拉（跑车）。狮子也有强大的加速能力，甚至超过瞪羚（瞪羚则耐力更好，急转躲闪能力更强）。猫科动物一般都善于冲刺，猛跃向猎物，令猎物措手不及；犬科动物，如角猎狗和狼，则善于用耐力消耗和累垮它们的猎物。瞪羚和其他羚羊为了应付这两种类型的捕食者，也许不得不妥协——它们的加速度比不上大型猫科动物，但它们的忍耐力更持久。一只汤姆逊羚羊，有时能通过急转躲闪抛开猎豹的追逐，从而拖延追逐过程，直到猎豹过了其最大加速度阶段，进入疲惫阶段，这时猎豹可怜的体力开始叫苦。猎豹狩猎依靠的是突袭和加速度，成功的猎豹通常在狩猎开始后不久，就能迅速结束狩猎。猎豹的“不成功捕猎”也会提早结束——猎豹在初始冲刺失败之后，放弃继续的追杀，以节省能量。换句话说，猎豹所有的捕猎，都是短暂的！

不要在意种种的细节，如最高速度和加速度、耐力和躲闪力、突袭和持续追击。显著的事实是，速度最快的动物既包括猎手，又包括猎物。自然选择驱动猎手变得越来越善于捕捉猎物，同时也驱动猎物越来越善于逃脱猎手的追击。猎手和猎物的进化的军备竞赛，进行在

进化的光阴里。结果双方把经济资源花费在“军备竞赛”上并且程度日益升级，其身体经济体的其他部门则为此付出代价。猎手和猎物都稳步得到了更好的身体配置，以（通过突袭、智胜等）压倒另一边。但是改进的奔跑设备，并没有明显地转化为成功的逃脱或得逞——原因很简单，军备竞赛中的另一方，也在升级其设备：这正是军备竞赛的特点。你可以像红心皇后对爱丽丝说的那样，说“它们必须以最快的速度奔跑，以求可以停留在同一个地方”。

达尔文很清楚进化的军备竞赛，虽然他没有使用这一措辞。1979年，我的同事约翰·克雷布斯（John Krebs）和我发表了一篇关于这个主题的文章，其中我们把“军备竞赛”这个词归功于英国生物学家休·科特（Hugh Cott）。也许堪称意味深长——1940年，在第二次世界大战的深渊里，科特出版了他的《动物的自适应着色》（*Adaptive Coloration in Animals*）一书：

> 在宣称蚂蚱或蝴蝶的欺骗性面容“过于精细”之前，我们必须首先确定其天敌具有怎样程度的“感知力”和“分辨力”。不这样做，就好像没有查询敌方武器的性质和效力，就声称己方的战列舰装甲太沉重、重炮的射程过远了。事实是，在原始的丛林斗争和文明化的战争中(注)，我们看到了一个伟大的“进化的军备竞赛”正在进行——其结果，对于防御方来说，体现在速度、警觉性、护甲、尖刺、穴居习性、昼伏夜出的习性、有毒的分泌物、恶心的味道和隐藏色、警戒色和模仿色；而进攻方则体现在速度、突袭、伏击、诱惑、视力、爪子、牙齿、蜇伤、毒性獠牙、抗隐藏色和引诱性着色。正如为应对追猎者日益增加的速度，被猎者跑得更快了；或者为了应对进攻性武器，生出了防御性盔甲；同样，为了响应增强的感知能力，也演化出了完美的隐藏设备。

请注意，军备竞赛在进化的光阴里进行。不要将其混淆于现实中某猎豹个体和某瞪羚个体之间的竞赛。在进化光阴中的竞赛，得以组建了装备，用于投入现实中进行的竞赛。这样说的实际意思是：第一，在双方的基因库中，逐渐积累、强化了用于制造装备以智胜或超越对方的基因；第二，当大家争相从同一只天敌面前逃离，“用于快跑的装备”是用来超过同一物种的竞争者的（这是达尔文自己知道的一点）。有一则著名的笑话，几乎可以媲美《伊索寓言》，那就是关于“跑鞋和熊”的笑话(注)，用在这里非常贴切。当猎豹追逐一群羚羊，对于一只羚羊个体来说，最重要的不是说能跑过猎豹，而是不能成为羚羊群中跑得最慢的成员。

现在，我已经介绍了军备竞赛的术语，你可以看到：森林中的树木，也在进行一场军备竞赛。每一棵树都在竞相朝着太阳生长，超过它们在森林里的近邻。当一棵老树死了，在林冠中留出一个空位的时候，这场比赛就特别激烈。一棵老树倒伏的回响，就是比赛的发令枪声，在一直等待着这种机会的树苗之间，实时地发起一项竞赛（虽然这种“实时”要慢于我们这些动物习惯于感知的时间）。其中的某一棵树木，在进化过程中，因其祖先的“军备竞赛”而使自己的各项设施臻至齐全，具备蓬勃发展的基因；它生长速度快、长得高，这棵树最有可能成为竞赛的胜利者。

林木树种之间的“军备竞赛”是一个对称的比赛。双方都在努力实现同样的目的——在林冠中占有一席之地。捕食者和猎物之间的军备竞赛，是一个不对称的军备竞赛：攻击性武器和防御性武器之间的军备竞赛。寄生虫和宿主之间的军备竞赛，也是如此。甚至有看起来出人意料的“同一物种的雄体和雌体之间的军备竞赛”，以及“父母与子女之间的军备竞赛”。

“军备竞赛”中有一点可能会令“智能设计爱好者”担心不已——有太沉重的负担加之于竞赛双方，相当徒劳。如果我们假设有一

位猎豹的“设计者”，他显然已经竭尽全力把他每一点一滴的设计专才都用于了设计“最完善的超级杀手”这一任务。只要观察一下这种了不起的“跑步机器”，我们就会对此毫无疑问。如果我们要讨论猎豹所具有的各项设计的话，无疑，它被设计得非常完美，要专门猎杀羚羊。但同一位设计师也同样明显“绞尽脑汁地”设计出了设施齐全、能摆脱那些猎豹的瞪羚。看在老天的分上，设计师到底站在哪一边？当你看到猎豹绷紧的肌肉和柔韧的骨干，你势必得出这样的结论：设计师想要猎豹赢得比赛。但是当你看到在短跑、急转、躲闪的羚羊，你则会作出完全相反的结论。设计师的左手，难道不知道他的右手在做什么吗？设计师是一位虐待狂，享受竞技性体育比赛吗？他永远加码两边，以增加追逐的刺激性吗？难道做出羔羊的，亦做出了汝等？

难道神意计划果真要求豹子要和羚羊共卧？狮子应和牛一样吃干草吗？在这种情况下，食肉者的獠牙、狮子与豹子的利爪，因何而生？羚羊和斑马惊人的速度和敏捷的逃脱术，又是为何？不用说，根据进化论对形势的解读，则这一切都不成问题。每一方都奋力拼搏，以胜过另一方，因为这双方只有取得成功的个体，才会自动传递这些助其成功的基因。“无用”和“废物”这种想法跃入我们的头脑，是因为我们是人类，能站在“整个生态系统的福利”这一高度，观察此事。而自然选择只关心个体基因的生存和繁殖。

这就像森林中的树木。正像每一棵树都有一个“经济体”，投入树干中的“物资”就无法再付给果实或叶子；猎豹和羚羊也各自有其“内部经济体”。“跑得快”要付出巨大的代价，这不仅来自最终要追溯到太阳的能量，而且来自生成肌肉、骨骼和体力的各种物质（从而构成速度和加速度的装备）。瞪羚所摄入并消化的植物物质形式的食品，是有限的。用在肌肉和长腿上的物质无论是什么，都必然来自生命的其他部门，如育婴——理想状况下，“育婴”可能才是该动物“喜欢”投入资源进行的活动。这里是一个非常复杂的、各种妥协所

构成的平衡，需要进行微观管理。我们不能知道所有的细节，但我们知道——有可能从其他一些部门抽取资源，大力投入到另一个生命的部门（这是经济学的铁律）。一只个体把更多的资源投入奔跑，超过了理想的程度，却能拯救自己的性命；但是，在达尔文式的赌桌上，还有另一些同类，它们可能牺牲了一些奔跑速度，虽然招致了更大的被吃掉的风险，却取得了适当的平衡，能生育更多的后代，传递（这种取舍得当的）基因——这两种个体互相竞争，跑得快的，反而会最终落败。

必须取得恰当平衡的方面，不只是能源和昂贵的材料，还有“风险”——经济学家的计算也同样对“风险”不陌生。细长的腿，跑的速度快。但不可避免地，细长的腿也更易骨折（峣峣者易折）。在比赛的狂热中，摔断腿的赛马，实在是屡见不鲜，它们通常会被迅速处死。正如我们在第三章中所看到的，它们是如此脆弱，其原因是：在选育它们的时候，不惜一切代价地“过度求快”。瞪羚和猎豹也被选择性地繁殖，以求其快（是自然选择，而非人工选择）——如果自然界在选育它们的时候“过度求快”，它们也将腿脚脆弱，易于骨折。但是，自然从来没有“过分地选育”任何东西。自然取得了适当的平衡。这个世界充满了取得适当平衡的基因——正因为这样，它们才会存在于此！这意味着在实践中，平均来说，有生长“超长腿”的遗传倾向的个体传递基因的能力，要逊于速度稍慢一些但不易骨折的个体（虽然大家公认长腿更有利于奔跑）。这仅仅是一个假设的例子，它模拟了所有的动物、植物忙碌地“摆弄”的数以百计的各种权衡和妥协（之一）。它们摆弄应对各种风险，摆弄应对各种经济权衡。当然，并不是个体动物和植物在做摆弄和平衡，而是基因库中各种可选的基因（alternative genes）的相对数量在通过自然选择，进行摆弄和玩平衡。

正如你可能想到的，某一类交换中的“最佳妥协”往往不是固定的，而是会变的。在羚羊这一方，取决于该地区的食肉动物的出现频

率，羚羊“身体经济”中的“奔跑速度”和“其他需求”之间的权衡将发生推移。这和第五章的孔雀鱼是同样的道理。如果只有少数捕食者在周围，那么羚羊的“最佳腿长”就会缩短：最成功的个体将是那些其基因导致它们从腿部分流一些能源和材料，用于其他活动（如育婴或积累更多脂肪）的个体。这些也是不太容易断腿骨折的个体。相反，如果捕食者的数量增加，最佳的平衡将向长腿那一端推移，也会有更大的骨折的危险，于是就会有较少的能量和材料用于“身体经济”中那些和“快跑”关系不大的方面。

而同一类型的隐形计算，也将使捕食者的身体达成平衡，作出最佳的妥协。腿部骨折的猎豹，无疑将死于饥饿，她的幼崽也会饿毙。但是，鉴于能吃到一顿饭的困难程度，跑得太慢不能猎取足够食物的危险，可能会大过（为快跑得食而生长腿结果导致了）腿部骨折的危险。

猎手和猎物，都被困在了一场军备竞赛中；每一方都在不明智地压迫另一方改变其最优配置，以经济和生命和谐为代价，越来越远地推向同一方向——或是实实在在的同一方向（比如越跑越快），或是广义上的同一方向（都注重猎手和猎物之间的军备竞赛，而忽略了生命中的其他方面，如产奶）。鉴于双方都要在“跑得太快的风险”与“跑得太慢的风险”之间取得平衡（跑得太快容易骨折断腿，并要以身体经济的其他部分为代价；跑得太慢就不能捕获猎物，或者不能逃脱捕猎），所以，双方都在用同一种方式惩罚对方，真是一种残忍的“互相感应性精神病”。

或许精神病（或癫狂）尚不足以表达这一严肃事务的合理性——因为任何一方失败所受到的惩罚都是死亡（猎物失败了会被猎杀，猎手失败了会被饿死）。但是，“相互感应性”实在是很好地表现了这种感觉：如果猎手和猎物能够共聚一堂，商量出一个合理的协议，那么每一方都能过得比较好了。就像“友谊森林”中的树木，很容易看

出，这样一个协议如果大家都能恪守，将会令大家受益。然而，在森林中我们所遭遇到的“徒劳妄想”，也渗透到猎手与猎物的军备竞赛中。随着进化的光阴流逝，猎手越来越善于捕捉猎物，而这促使猎物更善于逃脱捕捉。双方并行地改善自己的装备，以求生存；但是双方都未必比以前过得更好——因为另一方也在改善自己的装备。

另一方面，很容易看到，一位中央计划者（心怀整个群落的福利）可能按照“友谊森林”的路线，施加有如下条款的协议——让双方都“同意”缩减其军械库：双方将资源转移到其他生命部门，结果是大家都能过得比较好了。当然，同样的事情也可能发生在人类的军备竞赛中。如果你不装备你的轰炸机，我们也就不需要我们的战斗机。如果我们没有配备导弹，你们也就不需要有导弹。如果我们把各自的军备支出减半，铸剑为犁，我们双方就都可以节省数十亿美元。现在，我们已经减少了一半的军事预算，并取得了一个稳定的平衡。那么，何不再次削减一半？做到这一点的诀窍是相互同步，使每一方都保持对应对方的稳步削减（军事预算）。这种计划的削减一定要是这样的——计划的。可惜，我们要再说一次，进化恰恰是没有计划的。就像在森林中的树木，军备升级是不可避免的，直到某一典型的个体升级到“无利可图”时为止。进化（与设计师不同）从来没有说要停止下来，考虑一下是否有可能让大家有一个更好的方法——互惠的方式；而不再是双方各自为了取得私利而大肆升级军备——又恰恰因为升级是相互的，所以优势就被抵消了。

“像一位设计师那样来思考”的诱惑，长期以来，流行于“大众生态学家”之间，有时甚至学院生态学家也危险地接近这一“诱惑”。例如，诱人的“审慎的猎手”这一概念，并不是一些“抱树痴汉”（tree-hugging airhead）想出来的，而是由一位著名的美国生态学家想出来的。

“审慎的猎手”这种想法是这样的：大家都知道，从人类作为一个整体的角度来看，如果大家都忍住不去过度收割某一个重要的食物物种（如鳕鱼）致其灭绝，我们就都会过得更好。这就是为什么各国政府和非政府组织在“庄严的秘密会议上”制定配额和限制；这就是为什么政府法令会精确地制定渔网网眼的尺寸；这就是为什么炮舰巡海，以防止那些持不同意见的拖网渔民。我们人类，在过得不错并有适当管制的情况下，是“审慎的猎手”。因此我们难道不应该指望野生食肉动物（如狼或狮）也变成“审慎的猎手”吗？（某些生态学家似乎是这么想的。）答案，是否定的。不、不、不。有必要理解一下“这是为什么”——因为它是一个有趣的问题，林中树木的故事和这一整章，应该让我们知道了“这是为什么”。

一位计划者——一位生态系统的计划者，心怀整个野生动物群落的福祉，确实可以计算出最佳的捕猎政策，（例如）让狮子来完美地执行。捕杀时，对某种羚羊不准超过一定的限额。应当放过怀孕的雌性、不要捕杀有充分生殖潜力的年轻成年个体。避免食用珍稀物种，因为它们可能灭绝，而不能在将来环境变化时派上用场。如果野外的狮子都遵守议定的规范和配额，仔细地计算以实现“可持续发展”，不是很好吗——而且很明智。要是这样，就好了！

是的，这样将是明智的，一位设计师会制定这样的规矩，至少如果他心怀生态系统的福祉，就会制定这样的规矩。但是，“自然选择”不会这样做，实际情况并不是这样！（主要是因为自然选择缺乏远见，根本不能这样做。）下面说一说为什么——我们又要讲一讲类似于森林树木的的故事。想象一下，因为某种奇怪的狮界外交，达成了协议。在某一地区的大部分狮子以某种方式成功地同意“限制它们的狩猎，保持在可持续的水平”。但是，假设在这一个节制且充满公义精神的狮子种群中，产生了一个突变基因，导致某只狮子个体违背了这个协议，竭力地捕猎猎物种群而自肥其身，甚至不惜把猎物物种驱赶到面临灭绝。自然选择会惩罚反叛的“自私的基因”吗？可惜的

是，它不会！反叛的狮子的后代，拥有的反叛基因，将在狮子种群中超过它们的对手，在生殖后代方面也将超过它们的对手。在几代之内，反叛的基因就在狮群中大肆传播；原来的友好的协议，将荡然无存。得到了最大份额猎物的狮子，也将传递使他得逞的这种基因。[注]

但是，设计的爱好者们会抗议：当所有的狮子都竭力自肥、过度捕杀猎物物种至灭绝的边缘，大家的日子就糟糕了，即使最成功的个别狮子，也过不了好日子了。最后，如果所有的猎物都灭绝，整个狮群也将灭绝。计划者坚持认为，自然选择肯定会介入，阻止这种事情发生吧？但是，要再一次叹息——自然选择不会介入。问题就在于：自然选择不会介入——自然选择不着眼于未来[注]，自然选择不对竞争的群体进行选择。如果自然选择对各群体进行选择的话，会有一些机会令“审慎的猎手”得到青睐。达尔文比许多他的继任者更清楚地意识到，自然选择所选择的，是一个种群内的互相竞争的个体。即使在个体竞争的驱动下，整个种群被驱策到灭绝的边缘，自然选择仍将有利于最有竞争力的个体——直到最后一只个体死亡的那一刻为止。自然选择可以驱动一个种群发生灭绝，而同时不断偏袒那些血战到底的有竞争力的基因（注定要成为最后的灭绝个体）。我们假设的计划者，是某一类经济学家——一位福利经济学家，他为某个总人口（或一个完整的生态系统）计算最佳的策略。如果我们一定要拿经济概念做类比的话，我们应该转而按照亚当·斯密的“看不见的手”进行思考。

---

1. 即使有，也是互相矛盾的。

2. 两位徒步旅行者被一头灰熊追赶，其中一个迅速逃跑，另一个停下来穿跑鞋。“你疯了吗？即使穿了跑鞋，你也跑不过灰熊的。”“是的，但我只要跑过你就行了。”

3. 或者“她”。狮子的特例被下列事实复杂化了：在狩猎过程中母狮子通常比较尽力，但一般是雄狮获得“大份额的猎物”。请不要纠结于我假想案例中的“狮子”。想象一个广义的捕食物种，再设想一下那些避免过度捕猎的“谨慎”个体，以及那些打破协定的“非谨慎”个体。

4. 对“达尔文式适应”的泛泛之谈，往往会让人错误地认为进化具有预见性（不是明确的认定，结果更为有害）。第八章“秀丽隐杆线虫部分”的英雄悉尼·布伦纳，他的诙谐幽默和他的科学才华，堪称珠联璧合。我曾经听说，他为了讽刺“进化前瞻性”这一谬论，曾假设一个寒武纪的物种在基因库里储存了一个看似无用的蛋白质，因为这些蛋白质在白垩纪会方便有用。

进化的神义论？

但是，现在我想完全放开经济学不谈。我们还是依循一位计划者（设计师）的思路。不过，我们的计划者会是一位道德哲学家，而不是一位经济学家。你会理想化地认为，一位仁慈的设计者将寻求苦难的最小化——这和经济福祉是可以兼容的，不过，这样创设的制度，将在细节上有所不同。可惜，这种事情（又一次地）并没有在自然界发生。有什么理由应该发生呢？悲惨的现实是：野生动物的痛苦，实在令人发指，敏感的头脑还是不要思考这类事情为妙。达尔文知道这种事情，他在一封写给友人胡克（Hooker）的信中说："关于笨拙、浪费、愚蠢低级和残忍骇人的自然界的作品，一位'魔鬼的牧师'（devil' s chaplain）写的书，会写些什么呢？"这个难忘的名词"魔鬼的牧师"已被我用作了我以前的一本书的书名。在另一本书中，我是这样描写的：

> 但是大自然既非仁慈，也非不仁。它既不反对遭受痛苦，也不支持遭受痛苦。除非影响到DNA的生存，否则大自然对这样或那样的痛苦，根本不感兴趣。很容易设想一种基因，比如说，当瞪羚在遭到致命一咬时，这种基因能使它们平静下来。但是，这种基因能否得到自然选择的偏爱呢？不能——除非使瞪羚平静的行为能提高该基因传播给未来世代的机会。但我们看不出该基因会有这种功效，我们可以因此猜想，瞪羚在被追捕至死亡时，承受着可怕的痛苦和恐怖——就像它们大多数终将要承受的那样。自然界中每年产生的"痛苦"的总量，大大超过了任何宽容的期望。就在我构思这句话的时间内，数千只动物正在被生吞活剥；其他一些动物则正在惊恐地呜咽着逃命；还有一些正被使其焦躁的寄生虫从内部缓慢地吃掉；数以千计的各种动物正死于饥饿、

干渴和疾病。必然如此。如果真有富足的时代，这一事实会自动导致动物群体增长，直至饥饿和苦难的自然状态重现。

寄生虫引起的痛苦，可能甚于肉食动物引起的痛苦；而当我们考虑它们的时候，对它们的“进化方面的存在理由”的了解，则增加了（而不是减轻了）我们所经验的徒劳感。每一次我感冒了，我都怒斥这种进化方面的“存在理由”（我现在正在感冒）。这也许只是一个小小的不便，但它是如此地毫无意义！至少，如果被水蟒吃掉，你可以感觉到自己献身给了一个“生命霸主”。当你被一只老虎吃掉，你在最后一刻也许会想：什么样非凡的手和眼睛，能塑造它一身惊人的匀称？（什么样遥远的海底、天边，烧出了做它眼睛的火焰？）但是，一种病毒！病毒有什么用？病毒的DNA本身就是了无意义的［普通感冒的病毒具有的是RNA（核糖核酸）］，但原理仍然是一样的。病毒存在的唯一目的，就是制造更多的病毒。好吧，虎、蛇也同样是要制造更多的虎、蛇，但它们看上去不是那么“了无意义”。老虎和蛇可能是DNA复制机器，但它们是美丽、优雅、复杂、昂贵的DNA复制机器。我会捐款以保护老虎，但谁又会想捐款保护普通的感冒病毒呢？就是这种了无意义的徒劳，传染了我——我要擤鼻子、打喷嚏、呼吸困难。

了无意义？真是胡说！多愁善感的人类胡话！自然选择本来就是徒劳、没有意义的——它只是自我复制指令的复制和生存而已。如果一个变种DNA通过水蟒吞食我整个人来实现生存，或另一个RNA变种通过让我打喷嚏来实现自己的生存，那这就足以为我们提供解释了。病毒和老虎都是编码的指令构建出来的，其终极信息（像电脑病毒一样）就是“复制我”。在感冒病毒的例子中，该指令被（相当）直接地执行。而老虎的DNA也是“复制我”的程序，但其基本信息的有效执行却有一个重要组成部分——它包含了超乎寻常的一段“离题经历”。“离题经历”是化身为一只老虎，有完整的獠牙、爪子、灵活

的肌肉、跟踪和突袭的本能。老虎的DNA说：“复制我，但通过一个迂回的路线，首先生成一只老虎。”同样，羚羊的DNA说：“复制我，但通过一个迂回的路线，首先生成一只羚羊，有完整的长腿和快捷的肌肉，胆怯的直觉和精湛的感官，以探测老虎的威胁。”苦难是通过自然选择的进化的一个副产品、一个不可避免的后果，我们在自己最有同情心的时刻，可能会担心“苦难”这类事情；但不能期望一只老虎也多愁善感地担心“苦难”——如果说老虎也会担心某些事的话，你也肯定不能指望它会操心“基因”。

神学家们忧心于“受苦”和“恶”的问题，在某种程度上，他们甚至发明了一个名字，“神义论”（theodicy，从字面上看，就是“神的正义”），企图调和痛苦与认定的神恩之间的矛盾。进化生物学家认为不存在这种问题，因为在基因为生存而作的算计中，种种邪恶和苦难都不算什么。然而，我们仍然需要考虑“疼痛”这个问题。根据进化的观点，疼痛是从何而来呢？

我们推测，像生命中的其他事物一样，疼痛也是一种达尔文式装置，它的作用是提高疼痛者的生存。生物的大脑，内建了一个拇指规则（经验法则）：“如果你遇到疼痛的感觉，无论你做什么，都不要再做它了。”为什么会有如此剧烈的痛苦，它仍然是一个有趣的讨论。从理论上讲，你可能会觉得，每当动物做害己之事（如拿起炽热的煤渣），这时让一个小红旗升起在大脑中的某个地方，但不引起任何痛苦，这样不是很好吗？让小红旗发出一个命令式的训诫：“不要做了！”或大脑通信线路中发生不引发痛苦的变化，然后动物就不再这样做了——表面上来看，这就应该足够了。被热煤灼烧的痛苦，为什么可以持续数天，并且这种痛苦从此再也忘不掉？解决这个问题也许需要“进化论自己的神义论”。为什么要那么痛苦？小红旗的方式为什么不行？

我这里没有一个最终的答案。有一种有趣的可能性是这样的：如果大脑处于互相矛盾的欲望和冲动之下，发生了某种内在的“天人交战”，将会如何？客观地说，我们很熟悉这种感觉。例如，我们一方面饥饿欲食，另一方面想要身材苗条，这就发生了冲突。或者，我们发生愤怒和恐惧之间的冲突。或者在性欲和害怕被拒绝（或良心上要保持贞节）之间的冲突。随着我们这些冲突的欲望发生交战，我们真的可以感觉到自己内部的“拔河”。现在返回疼痛问题，以及疼痛如何可能优于一套“红旗”系统。正像对苗条身材的渴望，可能打败饥饿欲食的渴望一样，逃避痛苦的渴望，很明显也是可以被压倒的。刑讯逼供的受害者，最终可能屈服招供了；但他们往往经历了一个相持阶段，承受相当大的痛苦，而不出卖自己的同志（或国家、或意识形态等）。如果说自然选择想要某种东西的话，那么它想要的就是：个体不要为爱国而牺牲自己；或者为了一种意识形态、党派、群体或物种，而牺牲自己。自然选择反对个体抑制“痛觉警告”。自然选择想让我们生存下来，或者更具体地说，想让我们繁殖下去，而不顾国家、意识形态或其他此类事物。自然选择所关注的就是“只有小红旗永不被压倒，才能受到青睐”。

现在，尽管有哲学上的复杂性；但是我认为，如果真有一个“红旗”在大脑（而不是真实、完整、无法忍受的痛觉），那么因非达尔文主义原因（忠于国家、意识形态等）而无视剧痛的情况，将会更加频繁。假设出现基因突变，产生了一些不会感到剧痛的人，他们只依靠“红旗”系统来远离身体伤害。这将使他们非常容易抵御酷刑，他们会立即被招募为间谍。除了招募能承受酷刑的间谍很容易之外，酷刑作为刑讯逼供的手段，将被停止使用。但是，在野生状态下，这样没有痛觉的红旗突变体的生存，会优于大脑中有真正痛觉的竞争对手吗？他们会生存下来，传递“红旗”这种“痛觉替代品”的基因吗？即使撇开酷刑和忠于某种意识形态这些特殊情况，我认为我们可以看出，答案可能是“不会”。我们也可以想象非人类的动物的类似情况。

事实上，这种有悖常理、感觉不到疼痛的人是存在的，但他们通常没有好的结果。“先天性无痛无汗症”（CIPA）患者对疼痛不敏感，是一种罕见的遗传异常，患者皮肤缺乏疼痛受体细胞（并且也不出汗，这就是“anhidrosis”的意思）。诚然，CIPA患者没有一套内置的“红旗”系统，以弥补失效的痛觉系统，但显然他们可以被教导从而认识到需要避免身体伤害（一个习得的“红旗”系统）。在所有情况中，CIPA患者因为无法感觉到疼痛，而承受各种不愉快的后果，包括烧伤、断裂、多发性疤痕、感染、得不到治疗的阑尾炎和眼球划痕。更意外的是，他们的关节也遭受严重损害，因为与我们平常人不同，他们或坐或卧在一个位置很长时间，也不改变自己的姿态。有些患者设置闹钟来提醒自己白天经常改变姿态和位置。

即使大脑中的“红旗”系统可以很有效，似乎也不能仅仅因为“其不适程度较轻”而令自然选择积极地青睐于它，而“辞退”一个真正的痛觉系统。与我们假设的“仁慈的设计师”不同，自然选择对于痛苦的强度是冷漠的——除非它会影响生存和繁衍。而且，正如我们应该想到的，既然适者生存（而非设计）构成了自然世界的基础，自然世界似乎根本没有采取任何步骤，以减少痛苦的总量。就此问题，斯蒂芬·杰伊·古尔德曾写了一篇不错的关于“不道德的自然”（Nonmoral nature）的论文。我从中得知：达尔文广为人知的对姬蜂科的反感，在维多利亚时代的思想家中，是屡见不鲜的（我在前面的章节中引用过）。

姬蜂科的物种有这样的习性：它们麻痹而非杀死其受害者，把卵产在受害者体内，其幼虫会在未来把受害者从内部吃空；此外，自然界还有各种普遍的残忍现象，这成了维多利亚时代的“神义论”需要面对的当务之急。很容易看出来为什么这会是当务之急。雌蜂在活的昆虫（如毛毛虫）体内产卵，它们首先会用针刺仔细地逐个刺每一个神经节，其方式虽令猎物瘫痪，但仍保持活的状态。猎物必须保持活的状态，以为里面寓居的姬蜂幼虫提供鲜肉。而幼虫的工作，则是按

明智的顺序，小心地吃掉其内脏器官。它首先吃掉脂肪组织和消化器官，把重要的心脏和神经系统留在最后（这是维持毛毛虫的生存所必需的）。达尔文如此尖锐地想知道，什么样“仁慈的设计师”才会想到这样一种主意？我不知道毛毛虫是否也会感到疼痛。我虔诚地希望它感觉不到疼痛。但我明白，自然选择如果可以更经济地完成工作，而致其行动瘫痪，那么它在任何情况下都不会采取任何步骤平息它们的痛苦。

古尔德引用了威廉·巴克兰牧师（William Buckland，19世纪领先的地质学家）的话，他设法为肉食动物造成的痛苦赋予了一种令人安慰的乐观色彩：

> 通过肉食动物而致的死亡（这种终结动物之存在的普通途径），其主要结果是施放仁爱；它消灭了普通死亡那种累加起来的痛苦；它为残忍的造物缩短了（几乎是消灭了）疾病的痛苦、意外伤害和长期腐败这些痛苦，并施加了有益的克制，防止过度的增长，使得粮食供应永远保持在一个适当的需求比例。其结果是，大地的表面和水域的深处，从来都挤满了无数的生命，它们生命的愉悦与其寿命共存，并且享受分配给它们的小日子；其得尽天职之时，也充满欢乐。

是啊，这对它们多好啊！

第十三章 生命以此观之，何其壮哉

达尔文的祖父伊拉兹马斯·达尔文（Erasmus Darwin）是一位进化论者，并且其科学诗受到英国两位诗人华兹华斯（Wordsworth）和柯尔律治（Coleridge）的赞美——我不得不说，这让我有点吃惊。与其祖父不同，查尔斯·达尔文并不以作诗闻名，但是他在《物种源始》的最后段落谱写了一段抒情的渐强音。

> 于是，从自然界的战争中，从饥荒与死亡之中(注)，我们所能设想的最高贵的事物，也就是高等动物的产生，直接伴随而来了。生命以此观之，何其壮哉，最初生命的几丝力量被吹入了几种（或一种）生命形态之中；同时这颗行星依照固定的万有引力定律运转不停，从这样一个简单的开端，演化出了无穷无尽的、最美丽和最奇异的生命形式，并且这一演化过程仍在继续。

这段著名的结束语，承载了丰富的内涵，我想在本书的最后逐一论述。

---

1. 达尔文告诉我们，他从英国人口学家托马斯·马尔萨斯（Thomas Malthas）那里衍生出自己关于“自然选择”的最初灵感。或许达尔文的这个特定措辞是由以下这些启示性段落促成的：“饥荒似乎是自然界最后的、也最可怕的资源。人口增长远远地强于土地为人类生产必需品的能力，人类必然发生各种形式的早死。人类的恶行是导致人口减少的能动因素。它们是毁灭军团的先锋，往往本身就能完成毁灭性工作。但如果杀灭人口的战争进行得尚不彻底，那么恶劣气候、流行病、瘟疫以及鼠疫，将以恐怖阵容横扫千百万人。如果这种恐怖的胜利尚不完全，巨大的饥荒也必将尾随而至，以减少世上食物的方式，砰然一击，剪灭人口。”（我的朋友马特·里德利唤醒了我对这一段落的注意。）

“从自然界的战争中，从饥荒与死亡之中”

达尔文的头脑仍如往常一样清醒，他认识到：在自己伟大理论的核心，存在一个道德悖论。他并没有矫饰言辞——但是他提供了缓解的意见，认为自然本身并无恶意。引用该段的另一句话来说，这些事仅仅是“在我们周遭发生作用的定律”带来的结果。他在《物种源始》的第七章末尾也说了类似的话：

> 有一种想法可能不大符合逻辑，但根据我的想象，对于幼杜鹃鸟推落义兄弟的本能，蚂蚁蓄养奴隶的本能，姬蜂幼虫寄生在毛毛虫活体内的本能，应该认为它们是由一个普遍定律造成的小小结果——这要比认为它们是被特别赋予或创造的本能更令人满意。这个普遍规律就是：繁殖、变异，让最强壮的生存，让最弱小的死亡——这个定律带来了所有生物的进步。

我曾提到达尔文对一件事的反感——雌性姬蜂刺它的猎物，将其麻痹而不是杀死，从而让自己的幼虫在活的猎物体内享用新鲜的肉（这种反感也是当时的人所共有的）。你应该记得，达尔文无法说服自己去相信一个仁慈的造物主会构想出这样一种习性。但有了自然选择掌权，一切都变得清晰、易懂而且合理了。自然选择不关心任何安慰。它为什么要关心呢？某件事情要在自然界发生，唯一的要求就是祖先时代发生的同样事情能有助于“推动该事件的基因的生存”。基因生存就足以解释姬蜂的残忍和整个大自然的冷漠无情：足以解释，并且能让人理解，至于同情心则是另一回事了。

是的，这种生命观是壮丽的，甚至在大自然对其指导原则（适者生存）所无情导致的苦难的漠然中，亦有其壮丽之处。神学家可能因神义论中的一项类似策略，而在这里发生共鸣，即受苦与自由意志是必然联系着的。如果生物学家从自身研究的角度出发，他们思考“生物耐受苦难的能力所具有的生物学功能”的时候，将会认为用“无情地”这个词一点儿也不夸张（或许按照我在先前的章节所思考的“小红旗警告”思路）——如果动物不受苦，某些动物就不会为了自身基因的生存而艰苦奋斗。

科学家也是人，并且像任何人一样，有资格斥责残忍、痛恨苦难。但是像达尔文这样的优秀科学家认识到：现实世界的真相，无论多么令人不愉快，总要去面对。此外，如果我们允许主观考量，那么将会对遍及所有生命的阴郁逻辑入迷，包括沿着猎物身体上的神经节进行蜇刺的姬蜂、把义兄弟挤出巢外的杜鹃（“Thow mortherer of the heysugge on y braunche”）、蓄奴的蚂蚁，以及对受苦固执地（或更确切地说，无知无感地）表现冷漠的所有寄生虫和捕食者。达尔文在对生存斗争那一章进行总结时，用了下面这些话竭力安慰他的读者：

> 我们所能做的就是在脑中绷紧这根弦：每一种生物都在努力地以几何比率增殖；而在其生命的某些阶段，或一年中的某些季节，或每个世代或间隔的时期，每种生物都必须为生存而斗争，并遭受重大的毁灭。当我们对这些斗争加以思考的时候，我们可以聊以自慰的是，完全可以相信自然界的战争并非没有间歇，恐惧是感觉不到的[注]，死亡总是迅速降临，而强壮、健康、欢乐的总会生存下来并进行繁殖。

“斩杀信使”是人类的愚蠢缺点之一，也是我序言中提到的“一个反对进化的观念”的主要基础。这种观念认为“对孩子们灌输‘他

们是动物’的思想，那么他们就会像禽兽那样行事”。即使进化本身或进化论教学真的会鼓励不道德，这也并不意味着进化论是错的。令人非常吃惊的是，竟然有许多人不理解这个简单逻辑。这个谬论是如此常见，以至于它有一个专名——叫作“诉诸后果”（argumentum ad consequentiam）——X是真的（或假的），其理由是：我非常喜欢（或不喜欢）它的后果。

---

1. 但愿我会相信。

“我们能想到的最高贵的事物”

“高级动物的产生”真的是“我们所能想到的最高贵的事物”吗？最高贵的？真的吗？就没有更高贵的事物了吗？艺术呢？精神呢？《罗密欧与朱丽叶》（*Romeo and Juliet*）呢？广义相对论呢？合唱交响乐呢？西斯廷教堂（*Sistine Chapel*）呢？爱呢？

请一定记住，达尔文本人尽管很谦虚，但也怀有伟大的抱负。他的世界观认为，有关人类心智的一切（即我们所有的情感和精神主张、艺术和数学、哲学和音乐、智力和精神的所有功业），它们本身都是形成了高级动物的同样过程的产物。这不只是说若缺少了已进化的大脑，就不可能有精神和音乐。更尖锐一点地说，因为功利的需要，大脑才经过自然选择而提高了它的容量和能力，直至这些更高机能的智力和精神以副产物的形式浮现出来，并且在“因群居和语言而生的文化环境中”蓬勃发展。达尔文主义的世界观并不轻视人类的更高级才能，不会把它们“贬低”成令人不屑的平面。它甚至不主张在一种特别令人满意的层次上来解释它们，这种方式被达尔文主义者用来令人满意地解释毛毛虫模仿蛇。然而，它确实宣称消除了令人费解的（甚至不值得去理解的）谜题——在达尔文之前，这些谜题曾经一路掣肘，让我们无法去理解生命。

但是达尔文根本不需要我为他做任何辩护，而我将略过“高级动物是我们所能设想的最高贵的事物，或仅是非常高贵的事物？”这个问题。然而，经历了怎样的步骤才得来了这些事物呢？高级动物的产生是从自然的战争之中、从饥荒和死亡之中“直接随之而来”的吗？是的，确实如此。如果你能理解达尔文的推理，就能理解它是直接随之而来的，但是直到19世纪，才有人理解了它。而直到现在，仍有许

多人不理解它，或不愿意去理解它。其中的原因，不难看出。请想一想吧！我们自身的存在与后达尔文主义对此的说明，是我们此生所能被吸引而加以思索的最惊人的一个事实。我很快就会谈到它。

“最初被吹入”

我不知道收到了多少封读者来信，对我先前的书表示愤怒，他们责备我，认为我故意省略了“最初被吹入”之前的那个关键的短语“由造物主”。是我不负责任地扭曲了达尔文的原意吗？这些狂热来信的读者忘记了达尔文的这本巨著共出版了6个版本。在第一版里，这句话就是我在这里写的这个样子。大概是屈从于宗教游说的压力，达尔文在第二版及以后各版中都插入了“由造物主”这一短语。每当我引用《物种源始》的时候，我总是引用第一版（除非有非常好的理由不这样做）。部分原因是我拥有的是这个具有历史意义的第一版的1250本之一，这是我最珍贵的一件财产，是我的朋友兼资助人查尔斯·西蒙尼送给我的。但更是因为第一版是最具有历史意义的。正是这一版，给了维多利亚时代的人们当头一棒，而且一扫几百年的旧风。此外，后来的版本（特别是第六版）不只是迎合了公众舆论，而且为了回应许多博学但误入歧途的评论家对第一版的批评，达尔文放弃甚至逆转了在某些重要观点上的立场，而他本来的立场其实是正确的。所以，原文就是“最初被吹入”，没有提及任何造物者。

看来达尔文后悔自己屈从了宗教意见。1863年，他写信给（他的朋友）植物学家约瑟夫·胡克（Joseph Hooker）说：“但是，我长久以来对于我屈从于公众舆论，使用了《旧约》前五卷里关于创世的术语而感到后悔；其实在这里，我真正的意思是：因为某些完全未知的过程而‘出现’。”达尔文在此提到的“《旧约》前五卷的术语”是指“创世”一词。正如弗朗西斯·达尔文（Francis Darwin）在他1887年出版的父亲书信集中解释的，当时的语境是：达尔文给胡克写信，感谢他借自己看了对卡彭特（Carpenter）某著作的一篇评论，匿

名的评论者谈到了“一种创世的力量……达尔文只能用《旧约》前五卷的措辞来形容其为‘生命最初是被吹入’原始形式中去的”。如今，我们甚至应该摈弃“最初被吹入”这句话。究竟应该是什么被吹入了什么里面？原意大概是指某种生命的气息[注]，但是，那会是什么意思呢？我们越努力地探究生命与非生命的界限，这个区别就越难以把握。生命，活物，都被认为具有某种鲜活、机动的特质，具有某种关键的精华——当用法语表达时，它听上去就更神秘了：élan vital（生命冲动）[注]。生命曾被认为是由一种特殊的活物质（被称为“原生质”的神秘配方）构成的。柯南·道尔（Conan Doyle）笔下的查林杰教授（Challenger，是一个甚至比夏洛克·福尔摩斯更荒谬的虚构人物）发现了地球是一只巨大的活海胆，它的外壳就是我们看到的地壳，而它的核心是由纯粹原生质组成的。直到20世纪中叶，生命仍被认为无法用定量的物理和化学方法进行研究。可如今情况已经改变。生命和非生命之间的区别不在于物质，而在于信息。生命体含有巨量的信息。这些信息的绝大部分，是用数字化方式编码在DNA上的，而且还有大量的信息以其他的方式编码，我们过一会儿就会谈到。

对于DNA，我们已非常了解其信息内容如何随着地质时期而积累。达尔文称之为自然选择，而我们能表达得更精确：让个体得以生存的胚胎配方信息的非随机生存。不言而喻，可以期待，促进自身生存的配方倾向于能生存下去。DNA的特殊之处在于，它并不是以自身的物质性方式存在下去的，而是以无限的一系列拷贝的形式存在下去的。由于在拷贝的时候会有偶然的错误，新的变异体可能会比其祖先生存得更好，因此，随着时间推移，编码生存配方的信息数据库将得到改进。这样的改进，将表现为（能促进这些编码信息的保存和传播的）更优秀的个体、其他创造物和身体设施。在现实中，DNA信息的保存和传播通常意味着携带该信息的个体的生存与繁衍。达尔文本人研究的

是“生物身体层次上的生存与繁衍”。达尔文的世界观里，隐含着身体内携带其编码信息这一点，但这一点直到20世纪才被明确阐述。

这个遗传基因数据库将变成一个关于以往环境的信息仓库，这些环境是该生物的祖先曾经生存的环境，也是使其益生基因传递下去的环境。只要今天和未来的环境与过去的环境相似（大多数情况下确是如此），这本“逝者遗留的宝典”就将作为对今天和未来生存很有帮助的手册。这个信息仓库，在任何一刻都会存在于生物个体体内，但从长远来看，有性繁殖的情况下，DNA从一只个体传给另一只个体的时候会进行洗牌，关于生存指令的数据库会是一个物种的基因库。

任何一代生物中，每只个体的基因组将是来自该物种的数据库的一个样本。不同的物种具有不同的数据库，因为它们各自祖先所处的环境不同。骆驼基因库的数据将编码与沙漠有关的信息，以及如何在沙漠中生存的信息。鼹鼠基因库的DNA则含有在黑暗潮湿的土地中生存的指令和提示。捕食者基因库的DNA会包含关于被捕食者的规避技巧的信息，以及如何智取它们的信息。被捕食者基因库的DNA则含有关于捕食者的信息，以及如何躲避和逃脱它们的信息。而所有基因库的DNA，都含有关于寄生虫以及如何抵御其有害入侵的信息。

“应对当下、以求未来生存”的信息，必然来自以往的积累。生物记录旧信息以供未来使用的显著方式，就是原始个体中DNA的非随机性存活，这也是建立初级DNA数据库的途径。但是关于生物“存储旧信息以提高未来的生存率”，还有另外三个更深入的方式——免疫系统、神经系统和文化。同翅膀、肺和其他与生存相关的器官一样，这三个次级信息收集系统最终都可由初级系统（DNA的自然选择）推测出来。我们将其合称为四套“记忆”。

第一套“记忆”是祖传生存技能的DNA知识库，它被撰写在物种基因库这个不断向前滚动的卷轴上。正如遗传下来的DNA数据记录了祖先的生存环境的周期性细节以及如何在其中生存的信息，作为第二套记

忆的免疫系统，同样记录了在生物自身生命周期中的疾病和其他损害机体物质的信息。每个生物关于其旧疾应对之策的数据库，都是独一无二的，它被写在抗体谱上——一个与每个病原体（引起疾病的生物体）对应的抗体总体，是由具有旧经验、能描绘病原体的蛋白质所精心剪裁而成的。与我那个时代的很多孩子一样，我小时候曾患过麻疹和水痘。我的机体“记住”了这次“经历”，这段记忆就被保存在抗体蛋白中，与之相随的还有其他我早些时候击败的入侵者的个人数据。我很幸运地从未患过小儿麻痹症，但医药科学已经聪明地开创了疫苗接种技术，从而能植入对未染之疾的假记忆。我将永远不会患小儿麻痹症，因为我的机体“认为”我之前已经患过，而且我的免疫系统数据库配备了恰当的抗体——这是通过注射无害型病毒而“愚弄”了免疫系统。令人着迷的是，正如众多获诺贝尔奖的医学家的工作成果所展示的，免疫系统数据库的自身构建要经过“由随机变化和非随机选择所组成的准达尔文式的过程”。但是在这里，非随机选择不是对个体生存能力的选择，而是对体内蛋白质包围或中和“蛋白质入侵者”这种能力的选择。

第三套“记忆”是我们通常意义上所认为的记忆——驻留于神经系统的记忆。我们的大脑经由一些我们尚未完全了解的机制，保留了关于过去经历的储备，这与关于旧疾抗体的“记忆”和关于祖先死亡或存活的DNA“记忆”（这样我们才能注重它）相平行。简单地说，第三套“记忆”依据反复试验法的过程，可被视为对自然选择的另一个类比。当一个动物搜寻食物的时候，它可能会“试验”不同的动作。尽管这个试验阶段不是严格的随机，但仍可被视为关于基因突变的一个合理类比。自然选择就好比是一种“强化”机制，即奖励系统（正面强化）和惩罚系统（反面强化）。进行某一行为（如把枯叶翻过来的尝试），结果发现有金龟子幼虫和木虱躲在树叶下面（奖励）。对于神经系统有一条规则，即：任何一个有奖励的尝试行为都应该重复。而任何一个试验行为若无任何结果，或甚至更糟的是带来惩罚（如疼痛），就不应再做出这种行为。

但是，在动物的指令系统中，大脑的“记忆”比准达尔文过程保存非随机性、奖励性行为和消除惩罚性行为，要更为深远。至少对人脑来说，大脑的记忆（这里无需引号，因为它就是这个词的本义）是丰富而生动的。它包含详细的场景，可以在使人五官皆感的内部影像中表现出来。它包含一系列相貌、地点、心情、社会习俗、条例、文字。对此你们心知肚明，我没有必要再大力渲染了，但另外，我要提一个值得注意的事实，即可任我支配的用于写作的“词汇”，与可任你支配的用于阅读的“词汇”相比，二者是完全一样的，或者至少在内容上是大量重复的，它们都存储在同样巨大的神经元数据库之中，与之相伴的，还有将它们排编入句及进行破译的语法装置。

此外，这个位于大脑中的第三套“记忆”孕育了第四套“记忆”。在我大脑的数据库中，不仅仅包含了我们个人的生活事件和感知记录——尽管这一容量范围曾是对最初进化出来的大脑的一个限制。你们的大脑也包含了来自过去世代的、非遗传性传承的集体记忆，这些通过口头或书面形式，再或通过现今的网络而传承下去。我们现代世界更为丰富多彩，要归功于那些将自己的影响镌刻在人类文明数据库中的先行者们：牛顿（Newton）和马可尼（Marconi）、莎士比亚和斯坦贝克（Steinbeck）、巴赫（Bach）和甲壳虫乐队（the Beatles）、史蒂芬森（Stephenson）和莱特（Wright）兄弟、琴纳（Jenner）和索尔克（Salk）、居里夫人和爱因斯坦、冯·诺依曼（Von Neumann）和伯纳斯－李（Berners-Lee）。当然，还有——达尔文。

这个超级生存机器在根本上是经过非随机性DNA存活的达尔文过程而建立的，而所有四套“记忆”都是这个超级生存机器的一部分，或就是其彰显（缩影）。

---

1. 宗教传统长久以来将生命定义为呼吸。“精神”（spirit）一词便是来自拉丁语中的“呼吸”（breath）。《创世记》里上帝首先创造了亚当，并向他鼻孔吹气注入

生命。希伯来文中“精神”一词是“ruah”或者“ruach”（阿拉伯语中为“ruh”），意思亦即“呼吸”、“风”、“灵感”。

2. 这一术语于1907年由法国哲学家亨利·柏格森（Henri Bergson）自创。我始终铭记朱利安·赫胥黎关于“火车必须由火车冲动（élan locomotif）推进”这一讽刺性的推论。

“吹入几种或一种生命形态中”

“几种或一种”——达尔文两边下注是明智的；但是我们今天都已非常肯定这个星球上的所有生物都来自同一祖先。正如我们在第十章里看到的，证据就是——遗传代码是普遍通用的，在所有动物、植物、真菌、细菌、古菌和病毒中都是相同的。不论你审视这个生物王国的任何地方，这部拥有64个单词的词典都是一样的，词典里的由3个字母组成的词被翻译成了20种氨基酸和一个标点，这个标点的意思是“从这里开始读”或“在这里停止读”（只有一两个例外，它们太少，不足以破坏这种普遍性）。假设人们发现了奇怪而反常的微生物，称之为小怪菌（harumscaryotes）；它们完全不利用DNA，或不利用蛋白质，或利用蛋白质，但所利用的不是我们熟知的那20种氨基酸，而是利用另外一套氨基酸穿起来的，再或者它们含有DNA，但是不使用三联密码子；或者使用三联密码子，但不是同一部的64个单词的词典——如果满足上述任何一个条件，我们就可以提出生命曾有两个起源：一个是小怪菌的起源，另一个是其他生命的起源。据达尔文当时所知（确切地说，据发现DNA之前的人们所知），某些现存生物可能会有我在此提到的小怪菌所具有的特性，在这种情况下，达尔文所说的“吹入几种生命形态中”是合理的。

有可能两个独立的生命起源事件碰巧含有相同的64个单词的密码？非常不可能。如果可能的话，那么现存的密码应该比另一套密码具有极大的优势，而且还应该存在一个逐渐上升的斜坡来改进它，即一个可供自然选择攀爬的斜坡。这两种条件都不太可能会产生。弗朗西斯·克里克很早就明确指出：遗传密码是一个“冻结了的意外”，即一旦在位，就很难或不可能再发生改变。这个推理很有意思。任何

遗传密码自身的突变（这与它编码的基因突变截然相反）都立即会引发灾难性后果，这不仅仅发生在一处，而是遍及整个生物体。如果在这包含64个单词的词典中，任何一个单词的意义发生了改变，那么它就会指定另外一个不同的氨基酸，于是机体内差不多每一个蛋白质都会即刻发生改变，很可能在沿着蛋白质链的很多地方都会发生改变。不像普通的变异可能轻微地加长腿的长度、缩短翅膀或者加深眼色，遗传密码上的一个改变会马上改变一切，而且会遍及全身，这将招致灾难。很多理论家都为遗传密码可能进化的特殊途径提出了独创性建议：引用他们的一篇文章来说，在有的途径，这个“冻结了的意外”可能会“解冻”。这些尽管很有趣，但是我认为，仍然可以肯定，我们已查看了其遗传编码的所有现存生物，都遗传自同一个共祖。不论各种生命形式的高级程序是多么的精密与不同，它们在根本上都是由同样的机器语言书写的。

当然我们不能排除这个可能性，即可能曾出现其他机器语言，但含有该机器语言的生物现今已经灭绝了——这与我提到过的小怪菌具有同等意义，并且，物理学家保罗·戴维斯（Paul Davies）合理指出，我们并没有深刻地观察，来了解是否现今仍然存在尚未灭绝的小怪菌（当然，他没有用这个词），暗藏于我们行星里一些极端的堡垒中。他也承认这是不太可能的，但是他主张——在我们的星球上彻底地搜寻小怪菌要比去其他星球上搜寻容易和便宜得多（这个思维多少有点像一个人在路灯下寻找他的钥匙，而不是去他丢钥匙的地方找——因为路灯下比较亮）。与此同时，我不介意表明我个人的预期，那就是：戴维斯教授不会发现任何东西，在地球上，所有现存的生命形式都使用同样的机器代码，都源自一个祖先。

“随着这颗行星依照固定的万有引力定律运转不停”

人类在理解统治我们生活的周期之前，就已经意识到它们很久了。最明显的周期就是昼/夜周期。物体飘浮在太空中，或按照万有引力定律围绕其他物体运动，都具有绕自轴自转的自然倾向。有例外，但我们的行星不属于这种例外。如今，地球的自转周期是24小时（它曾经转得更快），当然，我们对它的感知就是昼夜交替。

由于我们生活在一个相对大质量的物体上，我们认为引力主要是一种把所有东西拉向该物体中心的力量，我们感知为“落下”。牛顿最早理解到引力具有一种普遍效应——让全宇宙中的天体保持围绕另外的天体（在半永久性的轨道上）运动。我们感知为随着地球绕日运转而来的年度性季节变化[注]。因为我们行星的自转轴相对于绕日运转的轴，是倾斜的，所以当我们所居的半球向日倾斜的半年，我们就感觉到较长的白天和较短的夜晚，那段时期的高潮在夏季。在另外的半年中，我们感觉到较短的白天和较长的夜晚，在其最盛期我们称之为冬季。在我们所在半球的冬季，即便阳光能照到我们，其角度也很小。这种倾角使得冬季的一束阳光要比夏季的同样一束阳光照射到更大的面积。这样，在接收端，每平方英寸接收到的光子就较少，也就感到较冷。每片绿叶接收到的光子少了，就意味着光合作用也弱。较短的白天和较长的夜晚，也有同样的效应。我们的生活被周期所统治——四季循环、日夜交替；这正如达尔文和他之前的《创世记》所说：“大地存在之时，稼穑、寒暑、冬夏、昼夜就会永不停息。”

万有引力调节周期，同时也意味着调节生命，尽管这比较不明显。地球不像其他行星那样拥有众多较小的卫星，地球碰巧仅有一个大卫星，我们称之为月球。月球之大可以凭借自身就发挥一种显著的引力效应。对此，我们主要体验为潮汐周期：这不仅仅是指相对迅速的周期，即每日的潮起潮落，也指相对缓慢的周期，即每月一次的大潮和小潮，它是由太阳的引力效应和月球每月运行的引力效应之间的交互作用所引起的。这些潮汐周期对于海洋生物和沿海生物尤为重要，人们甚至夸张地怀疑，是否我们海洋祖先的某些物种记忆就存留在我们每月的生殖周期中。这也许有些牵强，但却能引发一项有趣的思索——如果没有环绕地球运行的月球，生命将会怎样的不同？对此，甚至有人提出，如果没有月球，生命便不可能存在（再一次地，这一观点在我看来是不对的）。

如果我们的行星不绕地轴自转会怎么样？如果它像月球朝向我们那样，永久地保持一面朝向太阳，那么白日永驻的半球将是一个炙热的地狱，而黑夜永驻的半球将寒冷得让人无法忍受。生命可以在两者交界的昏暗的不毛之地，或深埋的土壤之中存活吗？我对于生命能在如此不利的条件下起源表示怀疑，但如果地球自转速度逐渐减慢，直至停止，这将给予生物足够的时间去适应，至少一些细菌会成功存活——这应该是可信的。

如果地球自转，但其自转轴不是倾斜的，将会如何？我怀疑这样也不能排除生命形成的可能性。冬夏的循环将不复存在。夏季和冬季这种状态将与纬度和高度的效应有关，而不再与时间有关。居住在两极附近及高山之巅的生物，将经历永恒的冬季。我不理解为什么这就排除了生命形成的可能性，当然如果没有了季节，生命便会索然无趣。生物的迁徙，或它们在一年中特定的时间段进行繁衍，或落叶或换毛，再或冬眠，这些都将失去其动机。

如果行星根本不是围绕一个恒星运转的，生命的形成将完全成为不可能。如果不能围绕一个恒星运转，行星就只能在虚空中疾驰——这个虚空是温度接近绝对零度的黑暗太空，这个独自疾驰的星球不断远离能量源，远离这种使得生命能够短期而局部地逆转热力学趋势的物质。达尔文所说的“依照引力定律运转不停”，不仅仅是对“时间流逝不停而且漫长得令人难以想象”采用的诗意表达。

在围绕一个恒星的轨道里运行，是一个天体与能量源保持相对固定距离的唯一方式。在任何一个恒星附近（我们的太阳就是一个典型）都存在一个被光与热所笼罩的有限区域，在这儿，才可能有生命的进化。随着你远离恒星进入太空，这个适宜生存的地带也按照著名的平方反比定律迅速缩小。这就是说，光与热的减少不与行星到恒星的距离成正比，而是与距离的平方成正比。我们可以很容易地理解为什么会是这样。让我们想象以一个恒星为中心，半径不断增加的许多同心球体。恒星向外辐射的能量落在这个球体的内部，被这个球体每平方英寸的内部区域所“分享”。球体的表面积和半径的平方成正比（ESK）注。所以，如果球A到球B的距离变为两倍，那么同样数量的光子就被一个是原来面积4倍的区域所“分享”。这就是为什么水星和金星作为太阳系最内部的两个行星是如此炙热，然而处于外围的行星，例如海王星和天王星，则是寒冷而黑暗的，虽然仍不像外太空那么寒冷与黑暗。

热力学第二定律指出，尽管能量既不能被创造也不能被毁灭，但（须在一个封闭系统中）它会变得越来越不能做有用的功：这就是所谓的熵增加。“功”包括一系列事情，比如向上抽水，或与之等效的从大气层的二氧化碳中提取碳原子用于植物组织。正如我已在第十二章所清楚讲述的：只有注入能量到系统中，这些壮举才能得以实现（如电能驱动水泵，或太阳能驱动绿色植物中糖类与淀粉的合成）。一旦水被泵到山顶，接下来它会趋向于流向山下，这样水向下流产生的一些能量就可以被用来驱动一个水车，水车的机械能再带动发电机

产生电能，电能又可以驱动一个电动机将水泵回山顶——但只能泵回一些！尽管能量从未被毁灭，但总是有一些能量会流失。永动机是不可能实现的（这样说并不武断）。

对于生命的化学过程，在植物中，由太阳驱动的“上山型”化学反应，将碳元素从空气中提取出来，于是碳元素可以燃烧，并释放它的一些能量。我们能够真切地以烧煤炭的形式来燃烧碳元素，你可以认为它是一种存储的太阳能，这是曾在石炭纪或者其他过去年代中存在过，而现已死去很久的植物，它们作为太阳能板，将储存的能量遗留下来。再或者，能量也可能经过一种比实际燃烧更加可控的方式释放。在不论是植物、食草动物还是食肉动物的活细胞内，太阳制造的含碳化合物都在“缓慢地燃烧”。不是像字面上的意思，迸发形成火焰，而是它们将能量投入到耐用的涓涓细流中，在那里能量能够以一种可控的方式做功，来驱动“上山型”化学反应。（但是）不可避免地，一些能量以热量的形式损失了——如果不是这样，我们早就有永动机了，然而这是不可能的（我们已经重申过太多次了）。

宇宙中几乎所有的能量，都在从能够做功的形式逐渐降级到不能做功的形式。这是一种削平，一种调和，最终整个宇宙都会达到一种均一的、（真正的）平静的“热寂”。但是，当宇宙作为一个整体，向其不可避免的热寂迅速下降、疾驰的时候，有一个余地可以让少量能量驱动小局部系统走向相反的方向。来自海洋的水以云的形式升腾到空气中，接着云中的水沉降到山顶，在那里，水汇成溪水和河流，向山下流去，而这可以驱动水车和发电站。使水上升（从而驱动发电站的涡轮）的能量来自太阳。这并没有违反热力学第二定律，因为能量是不断地由太阳输入的。在绿色叶片中，太阳能也在做同样的事情，即驱动化学反应局部地“向上”（上山型）进行，从而产生糖类、淀粉、纤维素和植物组织。最终，植物死亡，或者被动物吃掉。被捕获的太阳能通过许多的级联反应，或者通过一条长而复杂的食物链，获得了向下滴流的机会，终于由细菌或者真菌降解的植物（或者

延长食物链的动物）。或者，其中的一些能量被封存在地下，先变成泥炭，再变成煤炭。但是，朝向最终热寂的总趋势是永远不会逆转的。在食物链的各个环节，还有在细胞中通过的每一个涓流级联反应，一些能量最终被降至无用状态。永动机是……好吧，重复得够多的了，但是我不会为引证而道歉，正如之前我在至少一本书中已引用的，即阿瑟·艾丁顿爵士（Sir Arthur Eddington）就该话题的绝佳表述：

> 如果某人向你指出，你所喜爱的宇宙论与麦克斯韦（Maxwell）方程不一致——这对于麦克斯韦方程可能也不妙。如果发现它与观察所得相矛盾，这有可能是缘自实验员做事笨手笨脚；但如果你的理论被发现违背了热力学第二定律，我就不能给你任何希望了。除了在最深的耻辱中崩溃，别无选择。

当神创论者说进化论违背热力学第二定律时（他们经常这样说），他们只不过表明了他们不懂这个定律（我们已经知道他们不懂进化）。没有违背定律——因为有太阳！

不论我们谈论的是生命，还是水升腾入云然后再落下，整个系统最终都依赖于来自太阳的稳定能量流。来自太阳的能量为生命提供了能源，这并不违反物理和化学定律（肯定也从未违反热力学第二定律）；反而是利用了物理和化学的定律，尽其所能地产生了复杂多样和美丽惊人的结果，但也使人们产生了一种奇异幻觉，让人们认为这在统计学上不可能，而是故意设计的。这个幻觉如此地强大，它甚至愚弄了我们最伟大的头脑，长达数百上千年——直到查尔斯·达尔文横空出世。自然选择是一个“逆转不可能性的泵”：一种产生“统计学上的不可能的事物”的过程。它有组织地抓住了少数令其得以生存的随机变化，在长得无法想象的时间里，一点一滴地把它们积累起来，直到进化终于爬上了不可能性与多样性之山巅，这些山峰的高度

和范围似乎没有极限，我把这种比喻性的山峰称为“不可能之山”(注)。自然选择这种“逆转不可能性的泵”驱动着活的复杂性登上了“不可能之山”，这在统计学意义上相当于太阳能把水送到了一座普通山峰的顶端。生命进化出了巨大的复杂性，这仅仅是由于自然选择在局部把它从统计学上的“不可能”驱向了“可能”。而这之所以有可能实现，端端是因为源自太阳的不断的能量供应。

---

1. 我像忍不住要挠痒痒或捂牙疼一般，总忍不住反复提到19%的英国人不知道何谓一年，并认为地球是一个月绕太阳一周（见附录中的调查）。即便那些知道一年是怎样计算出来的人，很大一部分也不知道季节是怎样产生的，他们带着疯狂的“北半球沙文主义”思想，认为我们在6月时距离太阳最近，在12月距离太阳最远。

2. “Every Schoolboy Knows”——所有在校男生都知道（所有的在校女生也可以通过欧几里得的几何学来证明）。

3. 当克劳德·香农（Claude Shannon）发明信息测量学（它本身可以用来衡量统计上不可能发生的事件）的时候，他所发现的数学公式，正和前一个世纪路德维希·玻尔兹曼（Ludwig Boltzman）建立的熵的公式相同——这并非偶然。

“从这样一个简单的开端”

关于进化启动后它如何运作的问题，我们的所知远远超过了达尔文。但是在进化最初如何启动的问题上，我们知道的并不比达尔文多很多。本书是一本关于证据的书，而我们还没有关于“在这颗行星上进化的启动”这一重大事件的证据。它可能是一个极为罕见的事件。它只需要发生过一次，而且据我们所知，它确实也只发生过一次。甚至有可能在整个宇宙中也只发生过这一次（尽管我对此表示怀疑）。基于纯粹的逻辑而非证据，我们可以指出一点：达尔文说“从这样一个简单的开端”是很明智的。“简单”的反面是“统计意义上的不可能”。在统计意义上不可能的东西，不会自发地发展形成：这正是“统计意义上不可能”的意思。这个开端必须是简单的，而“通过自然选择的进化”仍然是我们已知的从简单开端得出复杂结果的唯一过程。

达尔文没有在《物种源始》中论述进化是如何开始的，他认为这个难题超越他所处时代的科学范畴。在之前我引证的那封写给胡克的信中，达尔文继续写道：“现在考虑生命的起源，纯粹是毫无价值的；一个人还不如去考虑‘物质的’起源问题。”他并没有排除这个难题终将被解决的可能性（确实，关于物质起源的难题现大都已被解答了），只是要等到遥远的未来：“一段时间过后我们终会看到由‘黏液、原生质等’产生的一种新动物。”

针对这一问题，弗朗西斯·达尔文在他编辑的父亲书信集中，插入了一个脚注来告诉我们：

我父亲曾于1871年就同样的主题写道："虽然人们常常说第一个生命体产生的所有条件都具备，也一直存在着，但是假设（哇！多么重大的一个假设！）我们可以设想在一些温暖的小池中，有着各种各样的氨盐、磷酸盐，配以光、热、电等，由化学反应形成的蛋白质化合物准备进行一些更加复杂的变化，可是在当前状况下它们很快就会被吞噬和吸收了（于是不会形成生命），但这种情况在生命形成之前不应该发生。"

查尔斯·达尔文在此展现了两个相当不同的内容。一方面，他展示了关于生命可能如何起源的唯一推测（即那个著名的"温暖的小池"的段落）。在另一方面，他使我们从对旧事再现于眼前的希望中醒悟。即使现今仍存在着"第一个生命体的产生条件"，但任何这种新产物都将"立即被吞噬和吸收"（大概是被细菌，我们现今有好的理由补充上这一点），"但这种情况在生命形成之前不应该发生"。

达尔文写出上面这段话的7年之前，法国微生物学家路易·巴斯德（Louis Pasteur）在索邦（Sorbonne）神学院的一次讲座中说，"自然发生说将永远不会从这个简单实验的致命一击中恢复过来。"巴斯德展示的这个简单实验就是"与微生物隔绝的肉汤不会变质"，这与当时大众的预期恰恰相反。

神创论者不时引用"巴斯德的展示"，作为对他们有利的证据。其错误逻辑如下："现在从来没有观察到过自然发生。因此，生命起源是不可能的。"达尔文在1871年的陈述恰恰被设定为对这种错误逻辑的回击。很显然，生命的自然发生是一个十分罕见的事件，但这一定曾发生过——不管你认为最初的自然发生是自然事件还是超自然事件，它都必然真的发生过。而关于生命起源的这件事有多么罕见，这是我要进一步探讨的有趣问题。

俄国的奥巴林（Oparin）和英格兰的霍尔丹（各自独立地）最早对思考生命可能是如何起源的这种事情做出了认真尝试，他们一开始就否认了产生第一个生命体时的条件仍在我们身边。奥巴林和霍尔丹指出早期的大气层与现今的很不一样。尤其那时候的大气层没有游离氧，于是这种大气层被化学家们神秘地称为“还原性”（reducing）大气层。我们现在都知道大气层中的游离氧是生命的产物，特别是植物的产物——显然，生命出现的原始环境中根本没有自由氧。氧气作为污染物甚至作为一种毒气，涌入大气层，直到自然选择塑造的生命依靠这些东西而茁壮成长，而且确实没了氧气生命还会窒息。“还原性”大气层激发了这一针对生命起源难题的最著名的实验，探究生命起源的化学家斯坦利·米勒（Stanley Miller）把烧瓶中装满了简单的物质，它们冒泡、激闪着运行了仅仅一个星期，就产生了氨基酸和其他的生命先驱。

达尔文的“温暖的小池”与由它所激发的米勒的神秘配方，现今经常被竖为靶子，加以摒弃，以此来抛砖引玉。事实上现在还没有占主流的共识。有人提出了几个有卓见的观点，但是任何一个都没有决定性的证据指明自己正确无误。在之前的书中，我留心于各种有意思的可能性，其中包括格雷汉姆·凯恩斯－史密斯（Graham Cairns-Smith）的无机黏土晶体理论，以及最近一个十分流行的观点，即生命最初产生的环境条件类似于现今“嗜热性”细菌和古生菌地狱般的栖息地，其中一些“嗜热性”细菌和古生菌在沸腾的热泉中茁壮成长和繁殖。当下，大多数的生物学家都倾向于“RNA世界理论”（RNA World theory），其中的原因我认为很有说服力。

我们没有关于制造生命的第一步是什么的证据，但我们确切知道一定有过这一步。不管经历了怎样的一步，总是启动了自然选择。在那第一步之前，只有自然选择才能达成的一类改善是不可能存在的。这就意味着这关键的一步是指“经过一些未知的过程后一个自我复制实体的出现”。自我复制过程引起了一群实体的出现，它们为了能被

复制而彼此竞争。然而，没有完美的自我复制过程，这个群体不可避免地会变得富有多样性，而如果在种群中的复制体中产生了变异体，并且它具备取得成功的必要条件，那么它将会占据优势地位。这就是自然选择，只有在最初自我复制的实体出现后，它才会启动。

达尔文在他那“温暖的小池”一段中推测，生命起源的关键事件可能是蛋白质的自发产生，但这在达尔文提出的许多观点中，是最不被看好的一个理论。这并没有否认蛋白质对于生命极其重要。我们在第八章看到，它们具有十分特别的性质，能够自身卷绕成三维的物质，而这精确的形状是由它们的一维氨基酸序列特异所决定的。我们也看到了这种精确的形状赋予了它们高度特异性，来催化化学反应，并有能力万亿倍地提高一些特异性反应的速度。酶的特异性使生物化学反应得以进行，而蛋白质在它们能承担的形状范围内，像是无限灵活的。而这就是蛋白质所擅长的。它们的确非常非常擅长此道，达尔文提及这点是十分正确的。然而有一些事情，是蛋白质相当不擅长的，这也是达尔文所忽视的。蛋白质在自身复制方面完全没有希望。它们不能制造自身的复制品。这就意味着：生命起源的关键一步不可能是蛋白质的自发产生。那么，它会是什么呢？

我们所知的最好的复制分子是DNA。在我们所熟识的高级生命形式中，DNA和蛋白质达成了完美的互补。蛋白质分子是杰出的酶，但却是差劲的复制者。DNA恰好相反。它没有卷曲成三维的形状，因而不能发挥酶的功能。它的结构不是卷曲起来的，相反它保持着展开的线性形状，这就使它成为理想的复制者以及氨基酸序列的指定者。蛋白质分子具有精确性是因为它们卷曲成“封闭”的形状，而不通过某种方式“暴露”它们的序列信息从而被抄录或“读取”。序列信息被深不可及地埋藏在卷曲的蛋白质中。但是长链的DNA的序列中信息是暴露的并且可以作为模板。

生命起源的“第二十二条军规”理论就是如此。DNA可以复制，但是为了催化反应过程，它需要酶。蛋白质可以催化DNA形成，但是它们需要DNA来指定正确的氨基酸序列。早期地球的分子是如何挣脱了这种束缚，从而使自然选择开始启动呢？于是RNA登场了。

RNA和DNA一样，属于同族的链式分子，都是多核苷酸。它也包含了数目和DNA相当的4个“字母”的密码子，而实际上它在活细胞内承载来自DNA的遗传信息，并将其运送至使用之处。DNA是建立RNA编码序列的模板。而蛋白质序列的建立需要RNA而不是DNA作为它们的模板。一些病毒根本没有DNA，它们的遗传分子是RNA，独立地负责将它们的遗传信息一代又一代地承载下去。

现在到了关于生命起源的“RNA世界理论”的要点部分。除了能够延展成一种合适的形态来传递序列信息之外，RNA还能够自我装配，就像第八章说的磁性项链一样，RNA能够形成三维形状从而具有酶活力。RNA酶的确存在，它们不如蛋白质酶那么有效率，但也可以发挥作用。“RNA世界理论”指出RNA是一种很好的酶，它们能够坚守阵地，尽到作为酶的职责，直到蛋白质进化到可以接替酶的工作，并且RNA也是一种很好的复制者，它们也算是坚守了职责，直到DNA进化出来。

我觉得RNA世界理论是可信的，并且我认为很有可能在数十年之后，化学家们将会在实验室中进行模拟，完全重建曾在40亿年前的重大关卡启动了自然选择的一系列事件。已经有人在这一正确的方向迈出了奇妙的步伐。

在离开这个主题之前，我必须再重复一下我早先作品中已提及的警告。我们实际上并不需要一个关于生命起源的易解的理论，甚至如果人们发现了一个特别易解的理论我们还会感到一些担忧！这个醒目的悖论来自这个著名的“人们都在哪儿”的问题，它是由物理学家恩里科·费米（Enrico Fermi）提出的。他的问题听起来蔚然成谜，但费米的同事［即在洛斯阿拉莫斯实验室（Los Alamos Laboratory）的

物理学家们］都充分理解其中确切的意思。为什么宇宙中其他地方的生物从来没有拜访过我们呢？如果没有亲自拜访，至少也应该有通过无线电信号拜访吧（这个可能性要大得多）。

根据合理估计，我们银河系中行星的数量超过10亿，而星系的数量大约为10亿。这就意味着，尽管有可能我们的地球是银河系中唯一存在生命的行星，若这是真的，那么在一颗行星上出现生命的概率就不会大幅超过十亿分之一。因此，我们追寻的关于这个行星生命起源的理论断然不应是一个好理解的理论！如果它是，那么生命就应在银河系中寻常易见。也许生命是普遍存在的，在这种情况下，我们就需要一个易解的理论。但是我们没有证据表明生命还存在于地球之外，故而至少我们理应对一个看似费解的理论感到满足。如果我们严肃地看待费米的问题，那么“*地球没有外星人来访*”便可解释为“这是银河系中生命极其稀有的证据”，我们进而也应断然地期待——关于生命起源的易解的理论并不存在。我在《盲眼钟表匠》一书中已就此展开了更为全面的论述，在这里就不展开了。我猜想，不管这值不值得借鉴（借鉴价值不高，因为有太多未知因素），即生命是十分稀有的，但是行星的数量却十分庞大（更多的行星一直在被发现），因而我们很可能并不孤独，宇宙中可能存在数以百万的生命之岛。不过，即便有数以百万的生命之岛，它们之间仍有可能相距甚远，以至于它们彼此之间即使通过无线电也几乎没有机会偶然相遇。悲哀地说，就实际情况来看，我们不妨可以说是孤独的。

“演化出了无穷无尽的、最美丽和最奇异的生命形式，并且这一演化过程仍在继续”

我不确定达尔文所说的“无穷无尽的”是什么意思。它可能是一种夸张修辞，用于加强对“最美丽”和“最奇异”的表述。我料想这是其中一方面。但是我更愿意认为达尔文表达了某些更有意的、特指性的“无穷无尽”。当我们回顾生命历史的时候，我们看到了一幅永不停歇、生机盎然的画卷。个体会死亡，种、科、目，甚至纲都会走向灭绝。但是进化过程本身似乎能恢复它那周期性的繁盛，新鲜性不会削弱，活力不会减退，一纪又一纪。

容我暂且回到我于第二章描述过的“人工选择的计算机模型”：计算机生物形态的“野生动物园”中容纳了模拟节肢动物（arthromorphs）和模拟软体动物（conchomorphs），它们展现了极其多样的软体贝类可能是如何进化的。在那一章，我介绍这些模拟生物来作为一个例证，以此说明，在足够的世代，人工选择如何进行和它是多么的强大。现在，我想要用这些计算机模型，实现一个不同的目的。

每当紧盯计算机屏幕培育生物形态的时候，我得到的压倒性印象是，不管是彩色的还是黑色的，当我培育模拟节肢动物时，（好像）永远也不会觉得厌烦。这有一种周而复始的新奇感。这个程序好像永远都不会“疲倦”，而它的使用者亦是如此。这个程序与我在第十章简要描述过的达西程序截然不同，在达西程序中，动物被描绘在虚拟的橡胶性平面上，然后其“基因”由数学方法牵引着，在该平面的坐

标上移动。当利用达西程序进行人工选择的时候，随着时间的流逝，使用者好像就距离一个具有意义的参照点越来越远，接着就步入一个鄙陋不堪的真空地带；在这里，我们距起始点越远，结果就越没有参考意义。个中原因，我已做了暗示。在生物形态程序、节肢动物程序和软体动物程序中，我们利用计算机来等价一个胚胎发育的过程——在生物学上合理的三个不同的胚胎发育过程。与之相比，达西程序则根本没有模拟胚胎发育。正如我在第十章所解释的，它操控的是一种关于一个成体转变为另一个成体的畸变过程。胚胎发育机制的缺乏，使它不具备生物形态程序、节肢动物程序和软体动物程序所展现出的“创造性繁殖力”。而真实的胚胎机制是具有这样的“创造性繁殖力”的，这就是为什么进化产生了“无穷无尽的、最美丽和最奇异的生命形式”的起码的原因。但是我们能够超出这个最起码的范畴吗？

1989年，我在一篇名为《可进化性的进化》（*The evolution of evolvability*）的论文中提出，随着世代交替，不仅仅是动物们更擅长生存，而且动物们的世系也更擅长进化。什么叫作“擅长进化”呢？什么种类的动物擅长进化呢？陆上的昆虫纲和海中的甲壳纲，似乎可以在“演变为成千上万的物种”这一方面跻身榜首，它们划分并占据各自的生态位，并且在进化的光阴里恣意放纵地变换着服饰。鱼类亦是如此，它们展现了令人叹为观止的进化性分生力，此外还有蛙类，以及我们更熟知的哺乳动物和鸟类。

我在1989年的论文中提出的是：可进化性是“胚胎发育”的一种属性。虽然基因可凭借突变去改变某动物的形体，但是它必须经历一个胚胎发育的过程。一些胚胎发育能够更好地激发一些富有成效的基因方面的变异，以供自然选择，因而该生物可能就更擅长进化。“可能”这个词有些弱。在这里，我们难道不应该说“很显然，某些胚胎发育一定更擅长进化”吗？我认为正是如此。即便不太明显，但是我认为情况可以是这样：可能有更高级别的自然选择偏爱“可进化的胚胎发育”。随着时间的流逝，胚胎（发育）改善了其可进化性。如果

存在这种“更高级别的选择”，那么它将会与普通的自然选择大相径庭，后者根据个体能顺利传递基因的能力对其进行选择（等价为根据基因塑造成功个体的能力对基因进行选择）。这个提高可进化性的更高级的选择，就是美国伟大的进化生物学家乔治·C.威廉斯（George C.Williams）所称的“进化支进化”。一个进化支即是生命之树的一个分支，就像种、属、目、纲一样。当一个进化支（如昆虫纲）比其他的进化支（如须腕动物）可以更成功地在世界中扩增、变异与栖居，我们就可以说发生了“进化支进化”。（你也许没有听说过须腕动物这些生僻的蠕虫样生物，其默默无闻的原因之一就是：它们是一个不成功的进化支！）“进化支进化”并不意味着“分支们”要彼此竞争。昆虫不和须腕动物竞争，至少并不是直接地在食物、空间或者其他资源方面与须腕动物竞争。但是世界上充满了昆虫，却鲜有须腕动物，这令我们不禁要将昆虫的成功归功于它们所具备的一些要素。我揣摩是它们的胚胎发育因素导致其具有进化潜力（可进化）。在《攀登不可能的山峰》一书中标题为“千变万化的胚胎”这一章中，我对于由可进化性引起的特定要素提出了多种看法，其中包括对称性的限制，以及模块化架构，如分段的身体蓝图。

也许部分缘于其分段的“模块化架构”，节肢动物的进化支(注)擅长进化，善于在多个方向发生变异，善于使自己的种类多样化，并且善于抓住机会占据生态位。其他的进化支也能取得类似的成功，因为它们的胚胎被迫在多位面发生镜像发育过程(注)。我们看见的充斥于陆地或海洋的进化支，是善于进化的生物分支。在进化支选择中，不成功的进化支走向了灭绝，或者未能使自身多样化以迎接各种挑战——它们便败落并且毁灭了。成功的进化支兴旺发达，生出茂密的叶子，留在了谱系树上。进化支的选择听起来诱使我们想到达尔文的自然选择。但是，人们应该抵制这种诱惑，或者至少应该敲响警钟。表面上的类似非常可能把我们引入歧途。

“我们自身的存在”这一事实，太令人惊讶，几乎让人无法接受。另一个同样惊人的事实是：我们被一个丰富的生态系统包围，这个生态系统的组成部分有：和我们多少有些近似的动物、与我们相似程度小但是我们根本生存所需的植物，和与我们的远祖类似且我们死后都会腐烂变成的细菌。达尔文在理解“我们自身的存在”这一问题的高度方面走在了其时代的前列，也在悟出该问题的答案方面走在了时代前列。他还在认识到动植物及其他所有生物相互依存的问题上走在了时代的前列，这些依存关系中的复杂性绝对超乎想象。我们为何会发现自己不仅仅存在，而且周围还有如此复杂优美、无穷无尽、最美丽和最奇异的生命形式呢？

答案如下：唯有如此，别无可能——这是由于我们有能力注意到我们自身的存在，并有能力提出关于此事的问题。正如宇宙学家向我们指出的：我们能看到天空中的恒星，这并不是一个意外。可能存在“没有恒星的宇宙”，以及物理定律和常数导致原始氢平均分布而不会收聚为恒星的宇宙。但是却无人观赏这些宇宙——因为缺少了恒星，具有观测能力的实体就不会进化出来。生命至少需要一颗恒星提供能量。恒星也是铸造绝大多数化学元素的熔炉，若没有丰富的化学元素，生命就不会存在。我们可以逐条查看物理定律，然后对所有这些定律说同样的话：我们看到的并不是意外……

生物学也是这样。无论我们看哪里，毫不意外，我们几乎都能看到绿色。毫不意外，我们发现自己位于一棵枝繁叶茂的生命之树的一条细小树枝上；毫不意外，我们周围有许多其他物种，它们进食、生长、腐烂、游泳、行走、飞翔、挖穴、追猎、追逐、逃跑、以快取胜、以智取胜。没有数量至少是我们10倍以上的绿色植物，我们就没法获得能量；没有捕食者和被捕食者之间、寄生虫和宿主之间不断升级的军备竞赛，没有达尔文的“自然界的战争”，没有他所说的“饥饿和死亡”，就不可能存在能够看见事物的神经系统，遑论欣赏和理解事物。我们被无穷无尽的、最美丽、最奇异的生命形式所包围，这

毫不意外——这是通过非随机自然选择的进化的直接结果——这是小镇里唯一的游戏、地球上最伟大的表演。

---

1. 昆虫、甲壳类动物、蜘蛛、蜈蚣等。

2. 例如，千足虫腿部的基因突变会在两边都反映出来，也可能因重复而增加身体的长度。虽然这只是单突变，但胚胎发育的过程强制其在左右两边重复许多次。说一种约束的力量反而会增加某进化支的多样性，乍一听上去似乎是自相矛盾的。原因参见《攀登不可能的山峰》的“千变万化的胚胎”一章。

附录 否认历史的人

从1982年起，美国最著名的民意调查机构——盖洛普公司（Gallup）不定期地而又频繁地，针对如下问题进行了民意抽样调查：下面哪一项陈述最接近你对人类起源与发展的看法？

1. 人类是几百万年以来，从较低级的生命形态发展而来的，但上帝指导了这一过程。（36%）

2. 人类是几百万年以来，从较低级的生命形态发展而来的，但是上帝未参与这一过程。（14%）

3. 上帝在1万年前左右创造了和现在形态差不多的人类。（44%）

我嵌入的百分数来自2008年的调查结果。其他年份的数字差不多是一样的，包括1982、1993、1997、1999、2001、2004、2006和2007年。

我对于仅14%的人勾选了第二个选项并不感到意外。第二选项的不幸缘于“但是上帝没有参与这个过程”这样的措辞——看上去是蓄意引诱信教者不假思索地反对它。而真正令人哀伤的是人们对第三选项的大力支持，44%的美国人完全否定了进化（不但否定没有上帝的进化，而且否定由上帝指导的进化），这暗示他们认为整个世界的年龄不会超过1万年（正如我先前已经指出的，已知世界的真实年龄是46亿年），这就好比他们认为北美洲的宽度小于10码。9年来的抽样调查中，第三项的支持率每年都高达40%以上。有两年的抽样中，它高达47%。超过40%的美国人否认人类是从其他动物进化来的，而且他们认

为不仅是我们，还包括所有的生命，都是由上帝在过去的1万年创造的。可见这本书是必要的。

由盖洛普提出的问题关注人类自身，人们可能会说，这可能加大了感性的筹码，而使得人们很难接受科学的观点。2008年，美国皮尤论坛（the Pew Forum）发布了类似的但未特别论及人类的美国民意调查，其结果和盖洛普调查是完全相容的。提供的议题如下，同时也各自附有赞成者的百分比：

地球上的生命——

1. 从时间一开始就以现在的形态存在了。42%

2. 随着时间进化：48%

——通过自然选择而进化。26%

——由至高存在的指导而进化。18%

——进化但原因未知。4%

3. 不知道。10%

皮尤设置的问题没有提及年代，所以我们不知道这明确排斥进化的42%之中，有多少人像盖洛普测验中的44%一样，也认为世界的年龄小于1万年。看上去很有可能，皮尤测验的那42%的人也会附和几千年的说法，而不是科学家们确定的约46亿年。那些认为地球上的生命已经以现今的形态存在了46亿年而没有丝毫变化的人，至少看上去与认为生命以现今的形态存在了几千年的人一样荒谬可笑，这显然是违反《圣经》的。

那英国的情况又如何呢？我们要如何比较？2006年，英国广播公司（BBC）的（相对）高端的科学纪录片系列——《地平线》（*Horizon*）[注]，委托莫利调查机构（Ipsos MORI）在英国民众中进

行调查。不幸的是，其中的关键问题设置不当。人们被要求对下列关于地球上生命起源与发展的理论或者解释，进行三选一。在每一个选项的后面，我都标明了选择它的人数百分比。

（a）“进化论”，即人类是几百万年以来从低级生命形态发展而来的，上帝没有参与这个过程。（48%）

（b）“神创论”，即上帝曾经在过去的1万年前的某个时间内创造了和现在形态差不多的人类。（22%）

（c）“智能设计论”，即用超自然力量的介入（如上帝）能最好地解释生物的某些特征。（17%）

（d）不知道。（12%）

遗憾的是，这些选择没有列出某些人偏爱的选项，所以失去了很多拥趸。他们在（a）选项中没有给“但是上帝在这一过程中发挥了作用”留下余地。考虑到措辞中包含了“上帝没有在这一过程中发挥作用”，就不惊奇选择（a）的人数比例会低到48%了。选项（b）的百分比是22%，却是令人警醒地高，尤其在给出了荒唐的1万年（地球的）年龄限制时。并且，如果我们将（b）、（c）选项的百分比加在一起，将会得到偏向创世论的人们的百分比，即39%。这依旧没有高过美国的超过40%，特别要注意的是，美国的数字包括了年轻地球派的神创论者，而英国的（c）选项下的39%大概包括古老地球派的神创论者。

莫利民意测验对英国的被抽样民众提出了一个关于教育的附加题。就同样的这三个理论，人们被问：是否应该在科学课上讲授它们。令人不安的是，所有人中，只有69%的人明确认为，“进化论”应该在科学课上讲授（这里就不苛求他们反对讲授某些形式的创造论或智能设计论了）。

另一个更加宏大的调查，是由民意调查机构“欧洲晴雨表”（Euro-barometer）于2005年开展的，它包括了英国但不包括美国。这个关于科学事务的意见与信仰的抽样调查在32个欧洲国家进行（其中包括土耳其——渴望成为欧盟成员的唯一一个伊斯兰国家）。表1显示了认同“我们现在所认知的‘人类’是由早期的动物物种演化而来的”这项陈述的人在不同国家的百分比。要注意，这比莫利调查中的（a）选项更为中立，因为它并没有排除上帝在进化过程中发挥作用的可能性。我根据认同这一陈述的百分比（即得出符合现代科学的正确答案的百分比），对各国进行了排名，冰岛85%的被调查人群像科学家们一样地认为，人类是由其他物种进化而来的；而持此观点的土耳其人则仅有微少的27%。土耳其是表中唯一一个大多数人认为“进化是假的”的国家。英国排在第5位，13%的人强烈地否认进化论。美利坚合众国没有被包括在这次欧洲的抽样调查之中，然而美国人在这方面的认知仅仅强过土耳其，这一可悲的事实最近刚刚得到大量的曝光。

更奇异的是表2展示的结果，同样展示了有关“最早的人类和恐龙居住在同一时期”陈述的认知百分比。再一次地，我按照在该题中选“错误”这一正确答案的人数的百分比，对各国进行了排名(注)。结果土耳其又一次垫底了，整整42%的土耳其人认为最早的人类和恐龙并存；而和87%的瑞典人否认这种主张相比，仅仅30%的土耳其人打算否认它。我要遗憾地说，英国是处于下半部的，我们当中28%的人显然是从动画片《摩登原始人》（The Flintstones）中获取的科学和历史知识，而不是从任何教育资源中获取的。

表1 对“我们现在所认知的‘人类’是由早期的动物物种演化而来的”陈述的判断

国家	调查总人数	正确（%）	错误（%）	不知道（%）
冰岛	500	85	7	8
丹麦	1 013	83	13	4
瑞典	1 023	82	13	5
法国	1 021	80	12	8
英国	1 307	79	13	8
比利时	1 024	74	21	5
挪威	976	74	18	8
西班牙	1 036	73	16	11
德国	1 507	69	23	8
意大利	1 006	69	20	11
卢森堡	518	68	23	10
荷兰	1 005	68	23	9
爱尔兰	1 008	67	21	12
匈牙利	1 000	67	21	12
斯洛文尼亚	1 060	67	25	8
芬兰	1 006	66	27	7
捷克共和国	1 037	66	27	7
葡萄牙	1 009	64	21	15
爱沙尼亚	1 000	64	19	17
马耳他	500	63	25	13
瑞士	1 000	62	28	10
斯洛伐克	1 241	60	29	12
波兰	999	59	27	14
克罗地亚	1 000	58	28	15
奥地利	1 034	57	28	15
希腊	1 000	55	32	14
罗马尼亚	1 005	55	25	20
保加利亚	1 005	50	21	29
拉脱维亚	1 034	49	27	24
立陶宛	1 003	49	30	21
塞浦路斯	504	46	36	18
土耳其	1 005	27	51	22

资料来源：欧洲晴雨表，2005年。

作为一名生物学教师，我发现自己悲惨地对于另一项来自“欧洲晴雨表”的调查结果感到“宽慰”，这项调查揭示了大量英国人（19%）认为地球绕太阳转一圈需要一个月。这个比例在爱尔兰、奥地利、西班牙、丹麦均超过20%。令我惊讶的是，他们究竟认为“年”是什么？为什么季节会这样规律性地交叠更替？难道对自己的世界具有

的这一显著特点的缘由，他们竟然不感到好奇？这个引人注目的数字当然令人难以宽慰。我的重点在“悲惨地”（这三个字）上。我的意思是，我们看起来正在直面一种对科学的广泛无知，这当然很糟糕，但至少还好过因怀有绝对的偏见而反对某一具体科学（即进化科学），似乎土耳其就是这样（而且，人们不禁可以猜想到还有一些伊斯兰教国家的情况）。甚至不可否认，在美利坚合众国的情况也会如我们在盖洛普和皮尤调查中所看到的那样。

2008年10月，约60位美国高中学校教师在亚特兰大埃默里大学（Emory University）的科学教育中心会面。一些他们不得不讲的“恐怖故事”非常值得关注。一位老师报告说，当学生们被告知要学习进化时，他们“号啕大哭”。另一位老师描述，当他开始在课堂上讲述进化时，学生们是如何尖叫着喊道：“不要！”另一个报告说，（小）学生们强烈要求知道：鉴于进化“只不过是个理论”，为什么非要学习进化。还有老师描述，教会训练学生带着针对性问题到学校来提问，从而破坏教学。位于肯塔基州的创世博物馆（Creation Museum）是一个慷慨的资助机构，它致力于高水平地否认历史。在这里，孩子们可以骑在带马鞍的恐龙模型上，这不仅仅是一些小小的娱乐，它传递的信息是明确而毫不含糊的——恐龙是最近的存在并且曾和人类和平共处。它是由免税组织“创世记的答案”（Answers in Genesis）经营的。纳税人（这里是美国纳税人）在极大的程度上正在资助科学谎言和错误的教育。

表2 对于“最早的人类和恐龙居住在同一时期”陈述的判断

国家	总调查人数	正确	错误	不知道
瑞典	1 023	9	87	4
德国	1 507	11	80	9
丹麦	1 013	14	79	6
瑞士	1 000	9	79	12
挪威	976	13	79	7
捷克共和国	1 037	15	78	7
卢森堡	518	15	77	9
荷兰	1 005	14	75	10
芬兰	1 006	21	73	7
冰岛	500	12	72	16
斯诺文尼亚	1 060	20	71	9
比利时	1 024	24	70	6
法国	1 021	21	70	9
奥地利	1 034	15	69	15
匈牙利	1 000	18	69	13
爱沙尼亚	1 000	20	66	14
斯洛伐克	1 241	18	65	18
英国	1 307	28	64	8
克罗地亚	1 000	23	60	17
立陶宛	1 003	23	58	19
西班牙	1 036	29	56	15
爱尔兰	1 008	27	56	17
意大利	1 006	32	55	13
葡萄牙	1 009	27	53	21
波兰	999	33	53	14
拉脱维亚	1 034	27	51	21
希腊	1 000	29	50	21
马耳他	500	29	48	24
保加利亚	1 008	17	45	39
罗马尼亚	1 005	21	42	37
塞浦路斯	504	32	40	28
土耳其	1 005	42	30	28

资料来源：欧洲晴雨表，2005年。

这样的事情在整个美国是很常见的，而且，尽管我不愿承认，英国也正在变成这样。2006年2月英国《卫报》报道，伦敦的穆斯林医学生散发传单抨击达尔文理论为错误。福音派基督徒学生们也日益高亢地挑战了进化观念。穆斯林的传单是由注册的免税慈善团体“阿尔纳

信托”（Al-Nasr Trust）印发的注。所以，英国的纳税人也正在资助向英国教育体系内系统地散布一种主要且严重的科学谬误。

2006年《独立报》报道了伦敦大学学院史蒂夫·琼斯（Steve Jones）教授的言论：

> 这是一个实实在在的社会挑战。数年来，我都很同情我的美国同事——他们不得不在最初的几节生物课上清洗学生头脑中的创造论。英国曾经不存在这种问题，但是，现在也有问题了。我收到来自穆斯林学生的反馈，说他们被迫相信神创论，因为这就是他们穆斯林身份的一部分。但是更让我感到惊奇的是另外一些英国学生，他们把神创论视为一种可行的进化论替代物。这很令人担忧。可见神创论观点是多么的具有传染性。

最后，这个民意调查表明至少40%的美国人是神创论者，而且是根深蒂固、彻头彻尾的反进化论的神创论者，他们甚至不相信“有进化，但上帝在某种程度帮助了这一过程”（另有大量的人是相信这一点的）。对于英国及大多数欧洲国家来说，这个比例稍微没那么极端，但并不令人鼓舞多少，我们还没有理由自鸣得意。

---

1. 与美国新星（US Nova）相似，美国新星通过《地平线》发布新节目，或者与《地平线》合作共同出品。

2. 我想，如果我想卖弄学问的话，我就必须承认现代动物学家把鸟类划归为幸存的恐龙。因此严格说来，正确的答案就是这样，土耳其的大多数人是对的。然而，我想我们可以来做一个安全的假设，当人们被问到这样的问题时，他们所说的“恐龙”已经把鸟类排除在外，而只包括了已经灭绝的“可怕的蜥蜴”一类。

3. 几乎所有的宗教组织，都很容易获得免税的地位。非宗教组织则要付出巨大努力来证明它们是造福人类的。我最近成立了一个慈善机构，致力于发展“理性与科学”。我投入了大量的财力，经过漫长的协商后才最终成功取得慈善团体的地位，在此期间，我收到了来自英国慈善总会（British Charity Commission）署为2006年9月28日的一封信，包含如下内容：“目前尚不清楚科学的进步对于人类精神和道德发展的趋势会起到什么样的作用，请为我们提供相关的证据或解释科学是如何与人文主义及理性主义联

系在一起的。”而宗教组织无需任何义务去证实，甚至看似如果它们积极地参与证明科学的荒谬性，反倒更能表明它们有益于人类。

参考书目

Adams, D. and Carwardine, M. 1991. *Last Chance to See*. London: Pan.

Atkins, P. W. 1984. *The Second Law*. New York: Scientific American.

Atkins, P. W. 1995. *The Periodic Kingdom*. London: Weidenfeld & Nicolson.

Atkins, P. W. 2001. *The Elements of Physical Chemistry: With Applications in Biology*. New York: W. H. Freeman.

Atkins, P. W. and Jones, L. 1997. *Chemistry: Molecules, Matter and Change*, 3rd rev. edn. New York: W. H. Freeman.

Ayala, F. J. 2006. *Darwin and Intelligent Design*. Minneapolis: Fortress.

Barash, D. P. and Barash, N. R. 2005. *Madame Bovary's Ovaries: A Darwinian Look at Literature*. New York: Delacorte.

Barlow, G. W. 2002. *The Cichlid Fishes: Nature's Grand Experiment in Evolution*, 1st pb edn. Cambridge, Mass.: Basic Books.

Berry, R. J. and Hallam, A. 1986. *The Collins Encyclopedia of Animal Evolution*. London: Collins.

Bodmer, W. and McKie, R. 1994. *The Book of Man: The Quest to Discover Our Genetic Heritage*. London: Little, Brown.

Brenner, S. 2003. 'Nature's gift to science', in T. Frängsmyr, ed., *Les Prix Nobel, The Nobel Prizes 2002: Nobel Prizes, Presentations, Biographies and Lectures*, 274–82. Stockholm: The Nobel Foundation.

Brooks, A. C. and Buss, I. O. 1962. 'Trend in tusk size of the Uganda elephant', *Mammalia*, 26, 10–34.

Browne, J. 1996. *Charles Darwin*, vol. 1: *Voyaging*. London: Pimlico.

Browne, J. 2003. *Charles Darwin*, vol. 2: *The Power of Place*. London: Pimlico.

Cain, A. J. 1954. *Animal Species and their Evolution*. London: Hutchinson.

Cairns-Smith, A. G. 1985. *Seven Clues to the Origin of Life: A Scientific Detective Story*. Cambridge: Cambridge University Press.

Carroll, S. B. 2006. *The Making of the Fittest: DNA and the Ultimate Forensic Record of Evolution*. New York: W. W. Norton.

Censky, E. J., Hodge, K. and Dudley, J. 1998. 'Over-water dispersal of lizards due to hurricanes', *Nature*, 395, 556.

Charlesworth, B. and Charlesworth, D. 2003. *Evolution: A Very Short Introduction*. Oxford: Oxford University Press.

Clack, J. A. 2002. *Gaining Ground: The Origin and Evolution of Tetrapods*. Bloomington: Indiana University Press.

Comins, N. F. 1993. *What If the Moon Didn't Exist? Voyages to Earths that Might Have Been*. New York: HarperCollins.
Conway Morris, S. 2003. *Life's Solution: Inevitable Humans in a Lonely Universe*. Cambridge: Cambridge University Press.
Coppinger, R. and Coppinger, L. 2001. *Dogs: A Startling New Understanding of Canine Origin, Behaviour and Evolution*. New York: Scribner.
Cott, H. B. 1940. *Adaptive Coloration in Animals*. London: Methuen.
Coyne, J. A. 2009. *Why Evolution is True*. Oxford: Oxford University Press.
Coyne, J. A. and Orr, H. A. 2004. *Speciation*. Sunderland, MA: Sinauer.
Crick, F. H. C. 1981. *Life Itself: Its Origin and Nature*. London: Macdonald.
Cronin, H. 1991. *The Ant and the Peacock: Altruism and Sexual Selection from Darwin to Today*. Cambridge: Cambridge University Press.
Damon, P. E.; Donahue, D. J.; Gore, B. H.; Hatheway, A. L.; Jull, A. J. T.; Linick, T. W.; Sercel, P. J.; Toolin, L. J.; Bronk, R.; Hall, E. T.; Hedges, R. E. M.; Housley, R.; Law, I. A.; Perry, C.; Bonani, G.; Trumbore, S.; Woelfli, W.; Ambers, J. C.; Bowman, S. G. E.; Leese, M. N.; and Tite, M. S. 1989. 'Radiocarbon dating of the Shroud of Turin', *Nature*, 337, 611–15.
Darwin, C. 1845. *Journal of researches into the natural history and geology of the countries visited during the voyage of H.M.S. Beagle round the world, under the Command of Capt. Fitz Roy, R.N.*, 2nd edn. London: John Murray.
Darwin, C. 1859. *On the Origin of Species by Means of Natural Selection*, 1st edn. London: John Murray.
Darwin, C. 1868. *The Variation of Animals and Plants under Domestication*, 2 vols. London: John Murray.
Darwin, C. 1871. *The Descent of Man, and Selection in Relation to Sex*, 2 vols. London: John Murray.
Darwin, C. 1872. *The Expression of the Emotions in Man and Animals*. London: John Murray.
Darwin, C. 1882. *The Various Contrivances by which Orchids are Fertilised by Insects*. London: John Murray.
Darwin, C. 1887a. *The Life and Letters of Charles Darwin*, vol. 1. London: John Murray.
Darwin, C. 1887b. *The Life and Letters of Charles Darwin*, vol. 2. London: John Murray.
Darwin, C. 1887c. *The Life and Letters of Charles Darwin*, vol. 3. London: John Murray.
Darwin, C. 1903. *More Letters of Charles Darwin: A Record of his Work in a Series of Hitherto Unpublished Letters*, 2 vols. London: John Murray.
Darwin, C. and Wallace, A. R. 1859. 'On the tendency of species to form varieties; and on the perpetuation of varieties and species by natural means of selection', *Journal of the Proceedings of the Linnaean Society (Zoology)*, 3, 45–62.
Davies, N. B. 2000. *Cuckoos, Cowbirds and Other Cheats*. London: T. & A. D. Poyser.
Davies, P. C. W. 1998. *The Fifth Miracle: The Search for the Origin of Life*. London: Allen Lane, The Penguin Press.

Davies, P. C. W. and Lineweaver, C. H. 2005. 'Finding a second sample of life on earth', *Astrobiology*, 5, 154–63.

Dawkins, R. 1986. *The Blind Watchmaker*. London: Longman.

Dawkins, R. 1989. 'The evolution of evolvability', in C. E. Langton, ed., *Artificial Life*, 201–20. Reading, Mass.: Addison-Wesley.

Dawkins, R. 1995. *River Out of Eden*. London: Weidenfeld & Nicolson.

Dawkins, R. 1996. *Climbing Mount Improbable*. London: Viking.

Dawkins, R. 1998. *Unweaving the Rainbow*. London: Penguin.

Dawkins, R. 1999. *The Extended Phenotype*, rev. edn. Oxford: Oxford University Press.

Dawkins, R. 2004. *The Ancestor's Tale: A Pilgrimage to the Dawn of Life*. London: Weidenfeld & Nicolson.

Dawkins, R. 2006. *The Selfish Gene*, 30th anniversary edn. Oxford: Oxford University Press. (First publ. 1976.)

Dawkins, R. and Krebs, J. R. 1979. 'Arms races between and within species', *Proceedings of the Royal Society of London*, Series B, 205, 489–511.

de Panafieu, J.-B. and Gries, P. 2007. *Evolution in Action: Natural History through Spectacular Skeletons*. London: Thames & Hudson.

Dennett, D. 1995. *Darwin's Dangerous Idea: Evolution and the Meanings of Life*. London: Allen Lane.

Desmond, A. and Moore, J. 1991. *Darwin: The Life of a Tormented Evolutionist*. London: Michael Joseph.

Diamond, J. 1991. *The Rise and Fall of the Third Chimpanzee: Evolution and Human Life*. London: Radius.

Domning, D. P. 2001. 'The earliest known fully quadrupedal sirenian', *Nature*, 413, 625–7.

Dubois, E. 1935. 'On the gibbon-like appearance of *Pithecanthropus erectus*', *Proceedings of the Section of Sciences of the Koninklijke Akademie van Wetenschappen*, 38, 578–85.

Dudley, J. W. and Lambert, R. J. 1992. 'Ninety generations of selection for oil and protein in maize', *Maydica*, 37, 81–7.

Eltz, T.; Roubik, D. W.; and Lunau, K. 2005. 'Experience-dependent choices ensure species-specific fragrance accumulation in male orchid bees', *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 59, 149–56.

Endler, J. A. 1980. 'Natural selection on color patterns in *Poecilia reticulata*', *Evolution*, 34, 76–91.

Endler, J. A. 1983. 'Natural and sexual selection on color patterns in poeciliid fishes', *Environmental Biology of Fishes*, 9, 173–90.

Endler, J. A. 1986. *Natural Selection in the Wild*. Princeton: Princeton University Press.

Fisher, R. A. 1999. *The Genetical Theory of Natural Selection: A Complete Variorum Edition*. Oxford: Oxford University Press.

Fortey, R. 1997. *Life: An Unauthorised Biography. A Natural History of the First Four Thousand Million Years of Life on Earth*. London: HarperCollins.

Fortey, R. 2000. *Trilobite: Eyewitness to Evolution*. London: HarperCollins.

Futuyma, D. J. 1998. *Evolutionary Biology*, 3rd edn. Sunderland, Mass.: Sinauer.
Gillespie, N. C. 1979. *Charles Darwin and the Problem of Creation*. Chicago: University of Chicago Press.
Goldschmidt, T. 1996. *Darwin's Dreampond: Drama in Lake Victoria*. Cambridg Mass.: MIT Press.
Gould, S. J. 1977. *Ontogeny and Phylogeny*. Cambridge, Mass.: Harvard Universi Press.
Gould, S. J. 1978. *Ever since Darwin: Reflections in Natural History*. London: Burnett Books / Andre Deutsch.
Gould, S. J. 1983 *Hen's Teeth and Horse's Toes*. New York: W. W. Norton.
Grafen, A. 1989. *Evolution and its Influence*. Oxford: Clarendon Press.
Gribbin, J. and Cherfas, J. 2001. *The First Chimpanzee: In Search of Human Origins*. London: Penguin.
Haeckel, E. 1974. *Art Forms in Nature*. New York: Dover.
Haldane, J. B. S. 1985. *On Being the Right Size and Other Essays*. Oxford: Oxford University Press.
Hallam, A. and Wignall, P. B. 1997. *Mass Extinctions and their Aftermath*. Oxforc Oxford University Press.
Hamilton, W. D. 1996. *Narrow Roads of Gene Land*, vol. 1: *Evolution of Social Behaviour*. Oxford: W. H. Freeman / Spektrum.
Hamilton, W. D. 2001. *Narrow Roads of Gene Land*, vol. 2: *Evolution of Sex*. Oxford: Oxford University Press.
Harrison, D. F. N. 1980. 'Biomechanics of the giraffe larynx and trachea', *Acta Oto-Laryngology and Otology*, 89, 258–64.
Harrison, D. F. N. 1981. 'Fibre size frequency in the recurrent laryngeal nerves o man and giraffe', *Acta Oto-Laryngology and Otology*, 91, 383–9.
Helmholtz, H. von. 1881. *Popular Lectures on Scientific Subjects*, 2nd edn, trans. Atkinson. London: Longmans.
Herrel, A.; Huyghe, K.; Vanhooydonck, B.; Backeljau, T.; Breugelmans, K.; Grbac, I.; Van Damme, R.; and Irschick, D. J. 2008. 'Rapid large-scale evolutionary divergence in morphology and performance associated with exploitation of a different dietary resource', *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105, 4792–5.
Herrel, A.; Vanhooydonck, B.; and Van Damme, R. 2004. 'Omnivory in lacertid lizards: adaptive evolution or constraint?' *Journal of Evolutionary Biolo* 17, 974–84.
Horvitz, H. R. 2003. 'Worms, life and death', in T. Frängsmyr, ed., *Les Prix Nobel The Nobel Prizes 2002: Nobel Prizes, Presentations, Biographies and Lectures*, 320–51. Stockholm: The Nobel Foundation.
Huxley, J. 1942. *Evolution: The Modern Synthesis*. London: Allen & Unwin.
Huxley, J. 1957. *New Bottles for New Wine: Essays*. London: Chatto & Windus.
Ji, Q.; Luo, Z.-X.; Yuan, C.-X.; Wible, J. R.; Zhang, J.-P.; and Georgi, J. A. 2002. 'The earliest known eutherian mammal', *Nature*, 416, 816–22.
Johanson, D. and Edgar, B. 1996. *From Lucy to Language*. New York: Simon & Schuster.

Johanson, D. C. and Edey, M. A. 1981. *Lucy: The Beginnings of Humankind.* London: Granada.

Jones, S. 1993. *The Language of the Genes: Biology, History and the Evolutionary Future*. London: HarperCollins.

Jones, S. 1999. *Almost Like a Whale: The Origin of Species Updated*. London: Doubleday.

Joyce, W. G. and Gauthier, J. A. 2004. 'Palaeoecology of Triassic stem turtles sheds new light on turtle origins', *Proceedings of the Royal Society of London*, Series B, 271, 1–5.

Keynes, R. 2001. *Annie's Box: Charles Darwin, his Daughter and Human Evolution*. London: Fourth Estate.

Kimura, M. 1983. *The Neutral Theory of Molecular Evolution*. Cambridge: Cambridge University Press.

Kingdon, J. 1990. *Island Africa*. London: Collins.

Kingdon, J. 1993. *Self-Made Man and his Undoing*. London: Simon & Schuster.

Kingdon, J. 2003. *Lowly Origin: Where, When, and Why our Ancestors First Stood Up*. Princeton and Oxford: Princeton University Press.

Kitcher, P. 1983. *Abusing Science: The Case Against Creationism*. Milton Keynes: Open University Press.

Leakey, R. 1994. *The Origin of Humankind*. London: Weidenfeld & Nicolson.

Leakey, R. and Lewin, R. 1992. *Origins Reconsidered: In Search of What Makes Us Human*. London: Little, Brown.

Leakey, R. and Lewin, R. 1996. *The Sixth Extinction: Biodiversity and its Survival*. London: Weidenfeld & Nicolson.

Lenski, R. E. and Travisano, M. 1994. 'Dynamics of adaptation and diversification: a 10,000-generation experiment with bacterial populations', *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 91, 6808–14.

Li, C.; Wu, X.-C.; Rieppel, O.; Wang, L.-T.; and Zhao, L.-J. 2008. 'An ancestral turtle from the Late Triassic of southwestern China', *Nature*, 456, 497–501.

Lorenz, K. 2002. *Man Meets Dog*, 2nd edn. London: Routledge.

Malthus, T. R. 2007. *An Essay on the Principle of Population*. New York: Dover. (First publ. 1798.)

Marchant, J. 1916. *Alfred Russel Wallace: Letters and Reminiscences*, vol. 1. London: Cassell.

Martin, J. W. 1993. 'The samurai crab', *Terra*, 31, 30–4.

Maynard Smith, J. 2008. *The Theory of Evolution*, 3rd edn. Cambridge: Cambridge University Press.

Mayr, E. 1963. *Animal Species and Evolution*. Cambridge, Mass.: Harvard University Press.

Mayr, E. 1982. *The Growth of Biological Thought: Diversity, Evolution, and Inheritance*. Cambridge, Mass.: Harvard University Press.

Medawar, P. B. 1982. *Pluto's Republic*. Oxford: Oxford University Press.

Mendel, G. 2008. *Experiments in Plant Hybridisation*. New York: Cosimo Classics.

Meyer, R. L. 1998. 'Roger Sperry and his chemoaffinity hypothesis', *Neuropsychologia*, 36, 957–80.
Miller, J. D.; Scott, E. C.; and Okamoto, S. 2006. 'Public acceptance of evolution', *Science*, 313, 765–6.
Miller, K. R. 1999. *Finding Darwin's God: A Scientist's Search for Common Ground between God and Evolution*. New York: Cliff Street Books.
Miller, K. R. 2008. *Only a Theory: Evolution and the Battle for America's Soul*. New York: Viking.
Monod, J. 1972. *Chance and Necessity: An Essay on the Natural Philosophy of Modern Biology*. London: Collins.
Morris, D. 2008. *Dogs: The Ultimate Dictionary of Over 1,000 Dog Breeds*. London: Trafalgar Square.
Morton, O. 2007. *Eating the Sun: How Plants Power the Planet*. London: Fourth Estate.
Nesse, R. M. and Williams, G. C. 1994. *The Science of Darwinian Medicine*. London: Orion.
Odell, G. M.; Oster, G.; Burnside, B.; and Alberch, P. 1980. 'A mechanical model for epithelial morphogenesis', *Journal of Mathematical Biology*, 9, 291–5.
Owen, D. F. 1980. *Camouflage and Mimicry*. Oxford: Oxford University Press.
Owen, R. 1841. 'Notes on the anatomy of the Nubian giraffe (Camelopardalis)', *Transactions of the Zoological Society of London*, 2, 217–48.
Owen, R. 1849. 'Notes on the birth of the giraffe at the Zoological Society's gardens, and description of the foetal membranes and some of the natural and morbid appearances observed in the dissection of the young animal', *Transactions of the Zoological Society of London*, 3, 21–8.
Owen, R. B.; Crossley, R.; Johnson, T. C.; Tweddle, D.; Kornfield, I.; Davison, S.; Eccles, D. H.; and Engstrom, D. E. 1989. 'Major low levels of Lake Malawi and their implications for speciation rates in cichlid fishes', *Proceedings of the Royal Society of London*, Series B, 240, 519–53.
Oxford English Dictionary, 2nd edn, 1989. Oxford: Oxford University Press.
Pagel, M. 2002. *Encyclopedia of Evolution*, 2 vols. Oxford: Oxford University Press.
Penny, D.; Foulds, L. R.; and Hendy, M. D. 1982. 'Testing the theory of evolution by comparing phylogenetic trees constructed from five different protein sequences', *Nature*, 297, 197–200.
Pringle, J. W. S. 1948. 'The gyroscopic mechanism of the halteres of Diptera', *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, Series B, *Biological Sciences*, 223, 347–84.
Prothero, D. R. 2007. *Evolution: What the Fossils Say and Why It Matters*. New York: Columbia University Press.
Quammen, D. 1996. *The Song of the Dodo: Island Biogeography in an Age of Extinctions*. London: Hutchinson.
Reisz, R. R. and Head, J. J. 2008. 'Palaeontology: turtle origins out to sea', *Nature*, 456, 450–1.
Reznick, D. N.; Shaw, F. H.; Rodd, H.; and Shaw, R. G. 1997. 'Evaluation of the rate of evolution in natural populations of guppies (*Poecilia reticulata*)', *Science*, 275, 1934–7.

Ridley, Mark 1994. *A Darwin Selection*, 2nd rev. edn. London: Fontana.

Ridley, Mark 2000. *Mendel's Demon: Gene Justice and the Complexity of Life*. London: Weidenfeld & Nicolson.

Ridley, Mark 2004. *Evolution*, 3rd edn. Oxford: Blackwell.

Ridley, Matt 1993. *The Red Queen: Sex and the Evolution of Human Nature*. London: Viking.

Ridley, Matt 1999. *Genome: The Autobiography of a Species in 23 Chapters*. London: Fourth Estate.

Ruse, M. 1982. *Darwinism Defended: A Guide to the Evolution Controversies*. Reading, Mass.: Addison-Wesley.

Sagan, C. 1981. *Cosmos*. London: Macdonald.

Sagan, C. 1996. *The Demon-Haunted World: Science as a Candle in the Dark*. London: Headline.

Sarich, V. M. and Wilson, A. C. 1967. 'Immunological time scale for hominid evolution', *Science*, 158, 1200–3.

Schopf, J. W. 1999. *Cradle of Life: The Discovery of Earth's Earliest Fossils*. Princeton: Princeton University Press.

Schuenke, M.; Schulte, E.; Schumacher, U.; and Rude, J. 2006. *Atlas of Anatomy*. Stuttgart: Thieme.

Sclater, A. 2003. 'The extent of Charles Darwin's knowledge of Mendel', *Georgia Journal of Science*, 61, 134–7.

Scott, E. C. 2004. *Evolution vs. Creationism: An Introduction*. Westport, Conn.: Greenwood.

Shermer, M. 2002. *In Darwin's Shadow: The Life and Science of Alfred Russel Wallace*. Oxford: Oxford University Press.

Shubin, N. 2008. *Your Inner Fish: A Journey into the 3.5 Billion-Year History of the Human Body*. London: Allen Lane.

Sibson, F. 1848. 'On the blow-hole of the porpoise', *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 138, 117–23.

Simons, D. J. and Chabris, C. F. 1999. 'Gorillas in our midst: sustained inattentional blindness for dynamic events', *Perception*, 28, 1059–74.

Simpson, G. G. 1953. *The Major Features of Evolution*. New York: Columbia University Press.

Simpson, G. G. 1980. *Splendid Isolation: The Curious History of South American Mammals*. New Haven: Yale University Press.

Skelton, P. 1993. *Evolution: A Biological and Palaeontological Approach*. Wokingham: Addison-Wesley.

Smith, J. L. B. 1956. *Old Fourlegs: The Story of the Coelacanth*. London: Longmans.

Smolin, L. 1997. *The Life of the Cosmos*. London: Weidenfeld & Nicolson.

Söll, D. and RajBhandary, U. L. 2006. 'The genetic code – thawing the "frozen accident"', *Journal of Biosciences*, 31, 459–63.

Southwood, R. 2003. *The Story of Life*. Oxford: Oxford University Press.

Stringer, C. and McKie, R. 1996. *African Exodus: The Origins of Modern Humanity*. London: Jonathan Cape.

Sulston, J. E. 2003. '*C. elegans*: the cell lineage and beyond', in T. Frängsmyr, ed., *Les Prix Nobel, The Nobel Prizes 2002: Nobel Prizes, Presentations, Biographies and Lectures*, 363–81. Stockholm: The Nobel Foundation.

Sykes, B. 2001. *The Seven Daughters of Eve: The Science that Reveals our Genetic Ancestry*. London: Bantam.

Thompson, D. A. W. 1942. *On Growth and Form*. Cambridge: Cambridge University Press.

Thompson, S. P. and Gardner, M. 1998. *Calculus Made Easy: Being a Very-Simplest Introduction to Those Beautiful Methods of Reckoning Which Are Generally Called by the Terrifying Names of the Differential Calculus and the Integral Calculus*. Basingstoke: Palgrave Macmillan.

Thomson, K. S. 1991. *Living Fossil: The Story of the Coelacanth*. London: Hutchinson Radius.

Trivers, R. 2002. *Natural Selection and Social Theory*. Oxford: Oxford University Press.

Trut, L. N. 1999. 'Early canid domestication: the farm-fox experiment', *American Scientist*, 87, 160–9.

Tudge, C. 2000. *The Variety of Life: A Survey and a Celebration of All the Creatures that Have Ever Lived*. Oxford: Oxford University Press.

Wallace, A. R. 1871. *Contributions to the Theory of Natural Selection: A Series of Essays*. London: Macmillan.

Weiner, J. 1994. *The Beak of the Finch: A Story of Evolution in our Time*. London: Jonathan Cape.

Wickler, W. 1968. *Mimicry in Plants and Animals*. London: Weidenfeld & Nicolson.

Williams, G. C. 1966. *Adaptation and Natural Selection: A Critique of Some Current Evolutionary Thought*. Princeton: Princeton University Press.

Williams, G. C. 1992. *Natural Selection: Domains, Levels, and Challenges*. Oxford: Oxford University Press.

Williams, G. C. 1996. *Plan and Purpose in Nature*. London: Weidenfeld & Nicolson.

Williams, R. 2006. *Unintelligent Design: Why God Isn't as Smart as She Thinks She Is*. Sydney: Allen & Unwin.

Wilson, E. O. 1984. *Biophilia*. Cambridge, Mass.: Harvard University Press.

Wilson, E. O. 1992. *The Diversity of Life*. Cambridge, Mass.: Harvard University Press.

Wolpert, L. 1991. *The Triumph of the Embryo*. Oxford: Oxford University Press.

Wolpert, L.; Beddington, R.; Brockes, J.; Jessell, T.; Lawrence, P.; and Meyerowitz, E. 1998. *Principles of Development*. London and Oxford: Current Biology / Oxford University Press.

Young, M. and Edis, T. 2004. *Why Intelligent Design Fails: A Scientific Critique of the New Creationism*. New Brunswick, NJ: Rutgers University Press.

Zimmer, C. 1998. *At the Water's Edge: Macroevolution and the Transformation of Life*. New York: Free Press.

Zimmer, C. 2002. *Evolution: The Triumph of an Idea*. London: Heinemann.

图片来源

特别感谢以下各位为书中的插图及彩图提供了宝贵的意见和准确、恰当的指导：Larry Benjamin, Catherine Bosivert, Philippa Brewer, Ralf Britz, Sandra Chapman, Jennifer Clack, Margaret Clegg, Dray P. Domning, Anthony Herrel, Zerina Johanson,Barrie Juniper, Paul Kenrick, Zhe-Xi Luo, Colin McCarthy, David Martill, P. Z. Myers, Colin Palmer, Roberto Portela-Miguez, Mai Qaraman, Lorna Steel, Chris Stringer, John Sulston and Peter Wellnhofer.

COLOUR SECTIONS

page 1: *The Earthly Paradise* by Jan Brueghel the Elder, 1607–8, Louvre, Paris: Lauros/Giraudon/The Bridgeman Art Library.

pages 2–3: (a) Wild cabbage (*Brassica oleracea*), sea cliffs, Dorset: © Martin Fowler/Alamy; (b) vegetable spiral: Tom Poland; (c) Bernard Lavery, holder of 14 world records, with one of his giant cabbages in Spalding, Lincs., 1993: Chris Steele-Perkins/Magnum Photos; (d) sunflowers, Great Sand Dunes National Monument, Colorado: © Chris Howes/Wild Places Photography/Alamy; (e) sunflower field, Hokkaido: Mitsushi Okada/Getty Images; (f) Astucieux du Moulin de Rance, a British Belgian Blue bull, presented by B. E. Newton: Yann Arthus-Bertrand/CORBIS; (g) Kathy Knott, the winner in a posing routine at the 1996 British Bodybuilding Championships: © Barry Lewis/Corbis; (h) Chihuahua and Great Dane: © moodboard/alamy.

pages 4–5: (background) summer meadow, Norfolk: © G&M Garden Images/Alamy; (a) comet orchid (*Angraecum sesquipedale*), Perinet National Park, Madagascar: Pete Oxford/Nature Picture Library and *Xanthopan morgani praedicta*: © the Natural History Museum/Alamy; (b) bucket orchid (*Coryanthes speciosa*): © Custom Life Science Images/Alamy; (c) bee emerging from a bucket orchid: photolibrary/ Oxford Scientific Films; (d) Andean Emerald hummingbird (*Amazillia franciae*), Mindo, Ecuador: Rolf Nussbaumer/Nature Picture Library; (e) South African sunbird, Cape Town, South Africa: © Nic Bothma/epa/Corbis; (f) Hummingbird Hawk-moth (*Macroglossum stellatarum*), Switzerland: Rolf Nussbaumer/Nature Picture Library; (g) hammer orchid and wasp, Western Australia: Babs and Bert Wells/Oxford Scientific Films/photolibrary; (h) *Ophrys holosericea* orchid attracting male buff-tailed bumble bee: blickwinkel/Alamy; (i, j) evening primrose (*Oenothera biennis*) in normal and ultraviolet light: both Bjorn Rorslett/Science Photo Library; (k) spider orchid (*Brassia rex*), Papua New Guinea: © Doug Steeley /Alamy

pages 6–7: (a) Pair of pheasants (*Phasianus colchius*): Richard Packwood/Oxford Scientific Films/ photolibrary; (b) guppies: Maximillian Winzieri/Alamy; (c) Malaysian orchid mantis (*Hymenopus coronatus*), Malaysia: Thomas Minden/Minden Pictures/National Geographic Stock; (d) leaf mantis nymph, Amazon rainforest, Ecuador: © Michael & Patricia Fogen/Corbis; (e) satanic leaf-tailed gecko: © Jim Zuckerman/Corbis; (f) caterpillar mimicking snake, rainforest, Costa Rica.

page 8: Gorilla experiment: Simons, D. J., & Chabris, C. F. (1999). Gorillas in our midst: Sustained inattentional blindness for dynamic events. *Perception*, 28, 1059–1074. Crocoduck tie: courtesy of Josh Timonen. Caddis fly: photo courtesy of Graham Owen.

page 9: *Darwinius masillae*: © Atlantic Productions Ltd/photo Sam Peach.

pages 10–11: (a) Devonian scene by Karen Carr: © Field Museum; (b) *Tiktaalik* fossil: © Ted Daeschler/ Academy of Natural Sciences/VIREO; (c) *Tiktaalik* model and photo: copyright Tyler Keillor; (d) manatee and calves, ZooParc, Saint-Aignan, 2003: AFP/ Getty Images; (e) dugong at Sydney Aquarium, 2008: AFP/Getty Images; (f) *Odontochelys*: Marlene Donnelly/courtesy of The Field Museum.

pages 12–13: (a, b) the enzyme hexokinase closes round a glucose molecule: courtesy Thomas A. Steitz. (c) Cutaway artwork of an animal cell: Russell Knightley/Science Photo Library.

pages 14–15: (a) Fertilized human egg cell and (b) two-cell human embryo at 30 hours: both Edelmann/Science Photo Library; (c) eight-cell human embryo at 3 days and (d) sixteen-cell human embryo at 4 days: both Dr Yorgos Nikas/Science Photo Library; (e) embryo at 10 days inside the womb, just implanted in the uterine lining; (f) at 22 days, the embryo has a curved backbone and the neural tube is open at both ends; (g) at 24 days, the embryo is firmly implanted in the uterine wall, the heart extends almost up to the head and the placenta links it to the uterus, and (h) at 25 days: all photo Lennart Nilsson © Lennart Nilsson; embryo (i) at 5-6 weeks; (j) at 7 weeks: both Edelmann/Science Photo Library; (k) foetus at 17 weeks, (l) at 22 weeks: both Oxford Scientific Films/ photolibrary; (m) newborn baby: Getty Images/Steve Satushek.

page 16: Starling sequence: dylan.winter@virgin.net.

page 17: San Andreas Fault in the Carrizzo Plain, Central California: © Kevin Schafer/Alamy.

pages 18–19: (a) Diagram showing the age of the oceanic lithosphere, data source: R. D. Muller, M. Sdrolias, C. Gaina and W. R. Roest, 'Age spreading rates and spreading symmetry of the world's ocean crust', Geochem. Geophys. Geosyst. 9.Q04006. doi:10.1029/2007/GC001743. Image created by Elliot Lim, CIRES & NOAA/NGDC, Marine Geology and Geophysics Division. Data & images available from http://www.ngdc.noaa.gov/mgg/; (b) artwork showing the process of sea floor spreading: Gary Hincks/Science Photo Library; (c) artwork showing convection currents: © Tom Coulson/Dorling Kindersley.

pages 20–1: (a) Caldera of a volcano, Fernandina Island, Galapagos: Patrick Morris/Nature Picture Library; (b) Galapagos Islands from space: Jacques Descloitres, MODIS Land Rapid Response Team, NASA/GSFC; (c), (d), (f), (g) Diving pelican, Seymour Island; swimming marine iguana Fernandina Island; Galapagos tortoise, Santa Cruz; and pelican, penguin and Sally Lightfoot crabs, Santiago Island: all © Josie Cameron Ashcroft; (e) Espanola saddleback tortoise (*Geochelone elephantopus hoodensis*), Santa Cruz Island, Galapagos: Mark Jones/Oxford Scientific/photolibrary.

pages 22–3: (a) Eastern Grey kangaroo (*Macropus giganteus*), Murramarang National Park, New South Wales: Jean Paul Ferrero/Ardea; (b) open eucalyptus woodland, near Norseman, Western Australia: Brian Rogers/Natural Visions; (c) koala and joey: photo courtesy Wendy Blanshard/Lone Pine Koala Sanctuary; (d) duck-billed platypus (*Ornithorhynchus anatinus*), swimming underwater; (e) ring-tailed lemur (*Lemur catta*), Berenty Reserve, Southern Madagascar: Hermann Brehm/Nature Picture Library; (f) baobab tree, (*Adansonia grandidieri*), Western Madagascar: Nick Garbutt/Nature Picture Library; (g) Verreaux's sifaka lemur (*Propithecus verreauxi*), Berenty Reserve, Southern Madagascar: (*left*) Kevin Schafer/Alamy; (*middle*) © Kevin Schafer/Corbis; (*right*) Heather Angel/Natural Visions.

page 24: Blue-footed booby (*Sula nebouxii*): (*main picture*) © Michael DeFreitas South America/ Alamy; (*top to bottom*) © Westend 61/Alamy; © Fred Lord/Alamy; F1Online/photolibrary; (*bottom two*) Nick Garbutt/Photoshot.

page 25: Clare D'Alberto: © David Paul / dpimages 2009.

pages 26–7: (a) spider monkey, Belize, Central America: Cubolimages srl/Alamy; (b) male flying lemur, Borneo: Tim Laman/National Geographic Stock; (c) Egyptian fruit bat: © Tim Flach.

pages 28–9: (a) Ostrich (*Struthhio camelus*), running: © Juniors Bildarchiv/Alamy; (b) flightless cormorant (*Nannopterum harrisi*), Punta Espinosa, Fernandina, Galapagos: © Peter Nicholson/Alamy; (c) flightless cormorant (*Nannopterum harrisi*), diving, Fernandina, Galapagos: Pete Oxford/Nature Picture Library; (d) kakapo (*Strigops harboptilus*), New Zealand; (e) harvester ant removes her wings before giving birth, artwork by John Dawson: National Geographic/Getty Images; (f) cave salamander (*Proteus anguinus*): Francesco Tomasinelli/ Natural Visions; (g) short-beaked common dolphin (*Delphinus delphis*), Gulf of California, Mexico

pages 30–1: (a) European cuckoo ejecting host shrike (*Lanius senator*) egg from nest, Spain: © Nature Picture Library/Alamy; (b) lioness (*Panthera leo*), hunting young kudu, Etosha National Park, Namibia: © Martin Harvey/Alamy: (c) Large White (*Pieris brassicae*) caterpillar with larvae of parasitoid wasp (*Cotesia glomerata*) leaving to pupate: © WILDLIFE GmbH/Alamy; (d) canopy of Kapur trees, Selangor, Malaysia: © Hans Strand

page 32: (a) Amazon estuary, aerial view: © Stock Connection Distribution/Alamy; (b) wild garlic (*Allium ursinum*), Cornwall: © Tom Joslyn/Alamy; (c) hills and pastureland, Morgan Territory, California: © Brad Perks Lightscapes/Alamy; (d) moss (*Hookeria luscens*), leaf cells, a polarised light micrograph, showing two whole cells containing chloroplasts: Dr Keith Wheeler/Science Photo Library.

ILLUSTRATIONS IN TEXT

Figures in the text on the following pages were redrawn by HL Studios: 90, 149 (both), 153, 166, 167, 168 (both), 173 (both), 176, 177, 186, 187, 189, 191, 192 (both), 193, 196, 222, 225, 227, 228, 230, 231, 232, 287, 289, 290, 294 (both), 295 (both), 300 (all), 302, 304, 307, 343, 346, 347 (both), 350 (both), 354, 357 and 365.

Individual credits:

page 6: 'I still say it's only a theory', cartoon by David Sipress from the *New Yorker*, 23 May 2005: © The New Yorker Collection 2005 David Sipress from cartoonbank.com. All Rights Reserved.
pages 34 **and** 36: Computer-generated images courtesy the author.
page 47: Hamburgh fowl, Spanish fowl and Polish fowl, from Charles Darwin, *The Variation of Animals and Plants under Domestication*, 1868.
page 48 and 49: Ka: Kabuki mask of a samurai warrior, detail of a 19th-century woodblock by Utagawa Toyokuni III, photo courtesy Los Angeles Natural History Museum. *Heikea japonica*, a male collected in Ariake Bay, off Kyushyu, Japan, 1968, width 20.4mm, photo Dick Meier, courtesy Los Angeles Natural History Museum.
page 57: Two lines of maize selected for high and low oil content, from J. W. Dudley and R. G. Lambert, 'Ninety generations of selection for oil and protein in maize', *Maydica* 37 (1992) 81–7.
page 57: Two lines of rats, from H. R. Hunt, C. A. Hoppert and S. Rosen, 'Genetic factors in experimental rat caries', in R. F. Sognnaes, ed., *Advances in Experimental Caries Research* (Washington DC: American Association for the Advancement of Science, 1955), 66–81.
page 63: Dmitry Belyaev with laboratory foxes, Novosibirsk, Russia, March 1984, photo RIA Novosti; inset photo from D. K. Belayev, 'Destabilizing selection as a factor in domestication', *Journal of Heredity* 70 (1979), 301–8.
page 91: Graph from A. C. Brooks and I. O. Buss, 'Trend in tusk size of the Uganda elephant', *Mammalia* 26: 1 (1962), 10–34.
page 93: Diagram from A. Herrel, B. Vanhooydonck and R. van Damme, 'Omnivory in lacertid lizards: adaptive evolution or restraint', Journal of Evolutionary Biology 17 (2004), 974–84.
page 94: Photograph of caecal valve, from A. Herrel, B. Vanhooydonck and R. van Damme, 'Omnivory in lacertid lizards: adaptive evolution or restraint', *Journal of Evolutionary Biology* 17 (2004), 974–84; photo courtesy Anthony Herrel.
pages 100, 101, 102 and 104: Lenski experiment, diagrams from R. E. Lenski and M. Travisano, 'Dynamics of adaptation and diversification: a 10,000-generation experiment with bacterial populations', *Proceedings of the National Academy of Sciences* 91 (1994), 6808–14.
page 114: *Lingula*: 'Recent specimen of the brachiopod *Lingula* with long pedicle emerging from the 5 cm long valves of the phosphatic shell', © Natural History Museum, London. *Lingulella*, engraving © Natural History Museum, University of Oslo.
page 125: *Eomaia scansoria*, Chinese Academy of Geological Sciences (CAGS), redrawn from Qiang Ji, Zhe-Xi Luo, Chong-Xi Yuan, John R. Wible, Jian-Ping Zhang and Justin A. Georgi, 'The earliest known eutherian mammal', *Nature* 416 (25 April 2002), 816–22.
page 136: *Eusthenopteron*, after S.M. Andrews and T.S. Westoll, 'The postcranial skeleton of *Eusthenopteron foordi* Whiteaves', *Transactions of the Royal Society of Edinburgh* 68 (1970), 207–329. *Ichthyostega*, after Per Erik Ahlberg, Jennifer Clack and Henning Blom, 'The axial skeleton of the Devonian tetrapod *Ichthyostega*', *Nature* 437 (1 Sept. 2005), 137–40, fig. 1.
page 137: *Acanthostega*, after J. A. Clack, 'The emergence of early tetrapods', *Palaeogeography, Palaeoclimatoogy, Palaeoecology* 232 (2006),167–89. *Panderichthys*, reconstruction after Jennifer A. Clack.

page 140: Diagram from D. R. Prothero, *Evolution: What the Fossils Say and Why it Matters*, copyright © 2007 Columbia University Press. Reprinted with permission from the publisher.

page 141 (below): Reconstructed composite skeleton of *Pezosiren portelli*. Lateral view, length roughly 2.1 m. Shaded elements are represented by fossils; unshaded elements . . . are not. The length of the tail, and the form and posture of the feet are partly conjectural. After D. P. Domning, 'The earliest known fully quadrupedal sirenian', *Nature* 413 (11 Oct. 2001), 626–7, fig. 1.

page 145: Diagram modified from W. G. Joyce and J. A. Gauthier, 'Palaeoecology of Triassic stem turtles sheds new light on turtle origins', *Proceedings of the Royal Society of London* 271 (2004), 1–5.

page 168: *Sahelanthropus tchadensis*, reconstruction by © Bone Clones.

page 169: Skull of a foetal chimpanzee, reconstruction by © Bone Clones.

page 170: Baby and adult chimpanzee, photos courtesy Stephen Carr, from Adolf Naef, 'Über die Urformen der Anthropomorphen und die Stammesgeschichte des Menschenschädels', *Die Naturwissenschaften* 14: 21 (1926), 472–7. Original photos by Herbert Lang taken during the American Natural History Museum Congo Expedition, 1909–15.

page 183: Three kinds of virus, after Neil. A. Campbell, Jane B. Reece and Lawrence G. Mitchell, *Biology*, 5th edn, fig. 18.2, p. 321. Copyright © 1999 by Benjamin/Cummings, an imprint of Addison Wesley Longman, Inc. Reprinted by permission of Pearson Education, Inc.

page 187: Neurulation diagram, courtesy PZ Myers.

pages 200-1: Cellular family tree of *Caenorhabditis elegans*, http://www.wormatlas.org.

page 213: Map of the Galapagos archipelago, from Charles Darwin, *Journal of Researches*, 1st illus. edn, 1890, © The Natural History Museum, London.

page 219: Forest trees on St Helena, by courtesy of Jonathan Kingdon.

page 227: 'South America Secedes', cartoon by John Holden from Robert S. Diets, 'More about continental drift', *Sea Frontiers*, magazine of the International Oceanographic Foundation, March–April 1967.

page 238: Pterodactyl skeleton, after P. Wellnhofer, *Pterosaurs* (London: Salamander Books, 1991).

page 240: Polydactylic horse, from O. C. Marsh, 'Recent polydactyle horses', *American Journal of Science*, April 1892.

page 243: Okapi skeleton, after a drawing by Jonathan Kingdon.

page 248: Thylacine skull, S. R. Sleightholme and N. P. Ayliffe, International Thylacine Specimen Database, Zoological Society of London (2005).

page 250: Bdelloid rotifer, after Marcus Hartog, 'Rotifera, gastrotricha, and kinorhyncha', *The Cambridge Natural History*, vol. II (1896)

page 255: 'Various species of crabs and crayfishes', from Ernst Haeckel, *Kunstformen der Natur* (1899–1904)

pages 257-58: diagrams from D'Arcy Wentworth Thompson, *On Growth and Form* (1917)

page 270: 'Hodgkin's Law', courtesy Jonathan Hodgkin.

page 272: Phylogenetic tree, from David Hillis, Derrick Zwickl and Robin Gutell, University of Texas at Austin, http://www.zo.utexas.edu/faculty/antisense/DownloadfilesToL.html.

page 287: *Anhanguera*: after John Sibbick.

page 289: Female *Thaumatoxena andreinii silvestri*, from R. H. L. Disney and D. H. Kistner, 'Revision of the termitophilous Thaumatoxeninae (Diptera: Phoridae)', *Journal of Natural History* (1992) 26: 953–91.

page 299: Diagram from R. J. Berry and A. Hallam, *The Collins Encyclopedia of Animal Evolution* (1986)

page 301: Giraffe dissection, photo Joy S. Reidenberg PhD.

page 302: Diagram after George C. Williams.